



STUK-TR 33 / SYYSKUU 2020

Puranen Lauri

TR



Radioamatööriasemien säteilyturvallisuus

ISBN 978-952-309-483-3 (pdf)
ISSN 1796-7171

AVAINSANAT: radioamatööri, antenni, sähkökentän voimakkuus, magneettikentän voimakkuus

Tiivistelmä

Radioamatööriasemien säteilyturvallisuutta selvitettiin antennien läheisyydessä tehdyillä sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden mittauksilla. Mittauksia tehtiin kerrostalon katolle, mastoihin ja puihin sekä ajoneuvon katolle asennettujen antennien läheisyydessä radioamatööreille varatuilla taajuuskaistoilla taajuusalueella 3,7 MHz - 144 MHz. Antennityyppeinä olivat radioamatöörien eniten käyttämien yagi-antennien lisäksi, erilaiset pitkälanka-antennit, monopolit, quad-antenni ja erikoisantennit. Kentänvoimakkuudet mitattiin laajakaistaisilla radiotaajuisten sähkö- ja magneettikenttien (RF-kenttien) mittareilla kesällä samanlaisissa olosuhteissa, joissa mittarit oli kalibroitu. Sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden mittauksen epävarmuudeksi arvioitiin ± 3 dB.

Radiotaajuisten sähkö- ja magneettikenttien mittausten perusteella vain asemien antennit aiheuttivat merkittäviä RF-kenttiä, joten niiden sijoitus vaikuttaa eniten säteilyturvallisuuteen. Kerrostalon katolle asennetut antennit aiheuttivat katolle antennien läheisyyteen väestön toimenpidetasot ylittäviä kentänvoimakkuuksia suurimmilla lähetintehoilla, mutta kerrostalon sisätiloissa toimenpidetasot eivät ylittyneet ylimpienkään kerrosten huoneistoissa. Mastoon tai puuhun asennetun antennin alimman säteilevän osan ollessa alle 10 m korkeudella maasta antennin alapuolelleen maan pinnan lähelle aiheuttama sähkö- tai magneettikentän voimakkuus oli toimenpidetasoja suurempi alle 30 MHz taajuuksilla suurimmalla sallitulla 1500 W lähetinteholla. Antennin edessä toimenpidetasot voivat 1500 W lähetinteholla ylittyä vielä noin 30 m etäisyydellä, mikä on huomioitava asennuksessa. Ajoneuvon katolle asennetun pystyluupin aiheuttama magneettikenttä oli suurempi kuin väestön toimenpidetaso hieman yli 2 m etäisyydelle asti antennista 100 W lähetinteholla. Ajoneuvon sisällä toimenpidetasot eivät ylittyneet.

RF-kenttiä mitattiin radioamatööriasemilla, jotka olivat esikaupunkialueilla tai maaseudulla. Kaupunkien ja taajamien keskustoissa asemat ovat harvinaisia, koska niissä antennia voi olla vaikea sijoittaa radioamatöörilaitteiden käsikirjoissa esitettyjen ohjeiden mukaisesti. Suurikokoisille antennille ei yksinkertaisesti ole tilaa. Selvityksen perusteella radioamatööriasemat eivät lähetä jatkuvasti, vaan lähetykset ovat hyvin ajoittaisia. Asemien lähetintehot ovat yleensä paljon pienempiä kuin suurin sallittu. Asemien lähellä asuvan väestön altistus radioamatööriasemien radiotaajuisille sähkö- ja magneettikentille jää selvästi toimenpidetasoja pienemmäksi asemien normaalitoiminnassa käytettävillä lähetintehoilla ja liikennöintitavoilla. Erityistä huomiota on kiinnitettävä antennien sijoitukseen, kun käytetään suuria lähetystehoja. Antennit on asennettava riittävän korkealle ja riittävän kauaksi lähimmistä asuinrakennuksista ja paikoista, joihin väestöllä on pääsy.

Säteilyturvallisuusasioiden tulisi olla osana radioamatöörien koulutusta.

Radioamatöörilaitteiden käsikirjojen ohjeiden mukaisesti asennettujen radioamatööriaseman antennien aiheuttamista radiotaajuisista sähkö- ja magneettikentistä ei ole terveydellistä haittaa väestölle. Ne eivät häiritse kehon aktiivisia implantteja, kuten sydämentahdistimia, eivätkä vaaranna raskaana olevan eivätkä kehittyvän sikiön terveyttä.

AVAINSANAT: radio amateur, antenna, electric field strength, magnetic field strength

Abstract

The radiation safety of amateur radio stations was determined by electric and magnetic field strength measurements carried out in the vicinity of the antennas. Measurements were performed in the frequency bands reserved for radio amateurs in the frequency range from 3.7 MHz to 144 MHz in the vicinity of the antennas installed on the roof of an apartment building, on masts and trees and on the roof of a vehicle. In addition to the yagi antennas most used by radio amateurs, the antenna types were various long-wire antennas, monopolies, quad antenna, and special antennas. Field strengths were measured with broadband radio frequency electric and magnetic field (RF field) meters in the summer under similar conditions in which the meters were calibrated. The measurement uncertainty of the electric and magnetic field strength was estimated to be ± 3 dB.

Based on measurements of electric and magnetic fields carried out at amateur radio stations, only the antennas of the stations caused significant RF fields, so their placement has the greatest impact on radiation safety. Antennas installed on the roof of an apartment building caused field strengths which exceeded the action levels on the roof in the vicinity of the antennas at the highest transmitter powers, but indoors in the apartment building, the action levels were not exceeded even on the upper floors. When the height of the lowest radiating part of an antenna mounted on a mast or tree was less than 10 m from the ground, the electric or magnetic field strength was below the antenna near the ground higher than the action levels at frequencies below 30 MHz at a maximum transmitter power of 1500 W. In front of the antenna, the action levels with a transmitter power of 1500 W can be exceeded for a further distance of about 30 m, which must be taken into account during installation. The magnetic field strength caused by the vertical loop mounted on the roof of the vehicle was greater than the action level of the general public up to a distance slightly more than 2 m from the antenna at 100 W transmitter power. However, within the vehicle, the action levels were not exceeded.

RF fields were measured at amateur radio stations located in suburban or rural areas. In city and urban centres, stations are rare because it can be difficult to place antennas in them according to the instructions given in the amateur radio manuals. There is simply no room for large antennas. According to the survey, amateur radio stations do not broadcast continuously, but the transmissions are very intermittent. The exposure of the general public living near the stations to the radio frequency electric and magnetic fields of the amateur radio stations will be clearly lower than the action levels by the transmitter powers and communication methods used in the normal operation of the stations. Particular attention must be paid to the placement of antennas when high transmission powers are used. Antennas must be installed high enough and far enough away from the nearest residential buildings and places to which the public has access.

Radiation safety issues should be part of the training of radio amateurs. There is no health hazard to the general public from radio frequency electric and magnetic fields caused by antennas installed in accordance with the instructions in the amateur radio manuals. They do not interfere with active implants in the body, such as pacemakers, nor endanger the health of a pregnant person or developing fetus.

Sisällys

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
1 JOHDANTO	7
2 RADIOAMATÖÖRITOIMINTAA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET	9
3 VÄESTÖN ALTISTUSTA RADIOTAAJUISILLE SÄHKÖ- JA MAGNEETTIKENTILLE RAJOITTAVIA SÄÄDÖKSIÄ	11
4 RADIOAMATÖÖRIASEMIEN LAITTEET JA LIIKENNÖINTITAVAT SEKÄ ALTISTUKSEN ARVIOINTI	13
4.1 LÄHETINLAITTEISTO	13
4.2 ANTENNIT	14
4.3 LIIKENNÖINTITAVAT	15
4.4 ALTISTUKSEN ARVIOINTI	15
5 RADIOTAAJUISTEN SÄHKÖ- JA MAGNEETTIKENTTIEN MITTAUSMENETELMÄ	16
5.1 MITTAUSLAITTEET	16
5.2 MITTAUSMENETELMÄ	17
5.3 MITTAUSOLOSUHTEET	18
5.4 MITTAUSTEN EPÄVARMUUS JA JÄLJITETTÄVYYS	18
6 RADIOAMATÖÖRIASEMIEN ANTENNIEN MITTAUSTULOKSET	19
6.1 KERROSTALON KATOLLE ASENNETUT ANTENNIT	19
6.2 MASTOON ASENNETUT ANTENNIT	21
6.2.1 4+4-ELEMENTTINEN JA 4-ELEMENTTINEN YAGI-ANTENNI	21
6.2.2 3-ELEMENTTINEN JA 5-ELEMENTTINEN YAGI-ANTENNI	24
6.2.3 4X5-ELEMENTTINEN YAGI-ANTENNI	26
6.2.4 QUAD-ANTENNI	27

6.3 PITKÄLANKA-ANTENNIT	29
6.3.1 VAAKALUUPIT	29
6.3.2 VINODIPOLIT	29
6.3.3 WINDOM-ANTENNIT	31
6.4 MUUT MAAN LÄHELLE ASENNETUT ANTENNIT	32
6.4.1 MONOPOLI	32
6.4.2 TRIPOLI	32
6.5 AJONEUVOON ASENNETTU ANTENNI	34
7 RADIOAMATÖÖRIASEMIEN RF-KENTTIEN MITTAUSTULOSTEN TARKASTELUA	36
7.1 KERROSTALON KATOLLE ASENNETUT ANTENNIT	36
7.2 MASTOON ASENNETUT ANTENNIT	36
7.2.1 YAGI-ANTENNIT	36
7.2.2 QUAD-ANTENNI	37
7.2.3 PITKÄLANKA-ANTENNIT	37
7.3 MUUT MAAN LÄHELLE ASENNETUT ANTENNIT	38
7.4 AJONEUVON KATOLLE ASENNETTU ANTENNI	38
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	39

1 Johdanto

Radioamatööri toiminnan tarkoituksena on kouluttautuminen, radioyhteyksien luonti ja ylläpito sekä radiotekniset kokeilut. Se on henkilökohtainen harrastus, jolla ei tavoitella rahallista hyötyä. Radioamatööri asemat liikennöivät vain keskenään, mutta voivat uhkaavien hätätapausten estämiseksi tai ihmishengen pelastamiseksi olla yhteydessä muihinkin radioasemiin. Maailmassa on arviolta yhteensä noin kolme miljoonaa radioamatööriä (Pat NOHR 2019) ja satojatuhansia radioamatööri asemia. Eniten radioamatöörejä on Japanissa, noin 1,3 miljoonaa ja Yhdysvalloissa, noin 700 000. Suomessa on noin 6000 radioamatööriä ja Ruotsissa runsaat 12 000 (Markström 2016).

Radioamatööri toiminnalle on varattu taajuuskaistoja taajuusalueelta 137 kHz – 250 GHz. Suomessa suurin sallittu lähetimen radiotaajuinen (RF) teho on 1500 W. Suurtehoiselle radioamatööri asemalle voidaan myöntää joissain tapauksissa erikoislupa. Siinä annetaan lisäehtoja, joilla varmistetaan, että taajuuksia käytetään tehokkaasti ja tarkoituksenmukaisesti sekä estetään suurtehoisen radioviestinnän häiriöt. Radioamatöörit käyttävät erilaisia lähetysantenneja, jotka on asennettu mastoihin, puihin tai rakennusten katolle.

Taajamissa radioamatööri asemien antennit sijaitsevat asuinrakennusten lähellä ja voivat joskus huolestuttaa naapureita. Läheisen radioamatööri aseman lähetykset saattavat joskus ilmetä naapureilla televisiolähetysten vastaanoton häiriöinä ja herättää samalla epäilyjä, voisiko altistuminen radioamatööri aseman radiotaajuisille sähkö- ja magneettikentille (RF-kentät) olla terveydelle haitallista. Säteilyturvakeskus (STUK) selvitti vuonna 1987 radioamatööri aseman lähiympäristöönsä aiheuttamia RF-kenttiä. Selvityksessä mitattiin kahden aseman aiheuttamat RF-kentät, ja mittausten perusteella laadittiin raportti (Puranen 1988). Raportissa todettiin, että asemien aiheuttamat radiotaajuiset sähkö- ja magneettikentät olivat vähäisiä asuinrakennusten sisällä ja pihoilla. Säteilyturvallisuuden kannalta merkittäviä RF-kenttiä havaittiin mittausten perusteella vain katolla antennien läheisyydessä ja avoimien antenninvirttimien ja syöttöjohtojen läheisyydessä. Edellisen selvityksen aikaan suurin sallittu teho radioamatööri toiminnassa oli 500 W, kun se nykyisin on 1500 W. Nykyiset radioamatööri asemat voivat siten aiheuttaa suurempia RF-kenttiä, ja siksi STUKissa päätettiin tehdä laajempi selvitys radioamatööri asemien säteilyturvallisuudesta.

Ruotsin säteilyturvallisuusviranomainen (SSM) mittasi vuonna 2015 kuuden erityyppisen radioamatööri lähetinlaitteen aiheuttamat radiotaajuisen sähkö- ja magneettikentän voimakkuudet (Esterberg 2015). Mittaustulokset skaalattiin tilanteeseen, jossa antenniin syötettiin jatkuvasti suurin sallittu lähetysteho. Tällöin altistus RF-kentille ylitti väestön enimmäisarvot paikoissa, joihin väestöllä on vapaa pääsy. Tyypillisessä radioamatööri toiminnassa lähetykset ovat kuitenkin ajoittaisia ja lähetystehot merkittävästi alhaisempia kuin suurin sallittu teho, jolloin väestön altistus on enimmäisarvoja vähäisempää. SSM:n raportin perusteella radioamatöörien on kiinnitettävä erityistä huomiota lähetysantennin asennuspaikkaan. Ruotsissa tehtiin vuonna 2015 lisäksi laajempi selvitys radioamatööri asemien aiheuttamasta altistuksesta (Markström 2016). Sen mukaan valtaosa, noin 95 %, radioamatööreistä käyttää sellaisia lähetintehoja ja antennia, joiden aiheuttamat RF-kentät ovat väestön enimmäisarvoja pienempiä julkisilla paikoilla. Altistuksen enimmäisarvojen ylittyminen on mahdollista vain antennijärjestelmillä, jotka ovat määräysten vastaisia.

Tässä raportissa tarkastellaan ensin radioamatööritoimintaa koskevia määräyksiä ja väestön altistusta radiotaajuisille sähkö- ja magneettikentille rajoittavia säädöksiä. Sitten kuvataan lyhyesti radioamatöörien käyttämiä laitteita sekä liikennöintitapoja ja sitä, miten voidaan arvioida altistusta radioamatööriasemien aiheuttamille RF-kentille. Seuraavaksi esitetään RF-kenttien mittauksissa käytetyt mittauslaitteet, mittausmenetelmä ja mitausten epävarmuusarvio. Sen jälkeen esitetään kerrostalon katolle asennettujen antennien, mastoihin asennettujen antennien ja ajoneuvon katolle asennettujen antennien läheisyydessä tehtyjen radiotaajuisten sähkö- ja magneettikenttien mittaustulokset. Niitä analysoidaan ja verrataan väestön altistusta rajoittaviin säädöksiin. Lopuksi esitetään johtopäätökset radioamatööriasemien säteilyturvallisuuden selvityksestä.

2 Radioamatööritoimintaa koskevat määräykset

Suomessa radioamatööritoiminnasta säädetään sähköisen viestinnän palveluista annetun lain (917/2014) 39 §:n 3 ja 4 momentin nojalla sellaisina kuin ne ovat laissa (1003/2018). Näillä laeilla määritellään yleisesti radioamatööritoiminta ja asetetaan sille vaatimukset sekä valtuutetaan Liikenne- ja viestintävirasto (Traficom, aiemmin Viestintävirasto) antamaan tarkempia määräyksiä. Viestintävirasto antoi vuonna 2014 määräyksen 6J/2014, joka perustui kansainväliseen radio-ohjesääntöön Radio Regulations 2016 No 119-16. Ohjesäännön oli laatinut kansainvälinen televiestintäliitto ITU (International Telecommunication Union). Määräys on ollut voimassa 1.1.2015 alkaen. Vuonna 2016 siihen tehtiin vuoden 2017 ajaksi väliaikainen muutos. Viimeisimmässä Traficomien vuonna 2019 julkaisemassa radiotaajuusmääräyksessä 4Y/2019M lisättiin radioamatööritoimintaan tarkoitettuja taajuuskaistoja.

Viestintäviraston määräyksessä 6J/2014 annetaan vaatimukset radioamatööriaseman rakenteesta ja käytöstä. Lisäksi siinä esitetään muita erityisiä säännöksiä, joita on noudatettava radioamatööriviestinnässä. Lähetinlaitteiden hallussapitoon ja käyttöön tarvitaan radiolupa. Traficom myöntää luvan vain sellaiselle henkilölle, jolla on radioamatöörin pätevyystodistus. Todistuksen saa Traficomilta suorittamalla radioamatööritutkinnon, joka koostuu kahdesta eri moduulista. Radioamatöörin perusluokkaan vaaditaan K- ja T1-moduulin hyväksytty suorittaminen ja yleisluokkaan K- ja T2-moduulin hyväksytty suorittaminen. K-moduuli käsittelee hätäliikennettä ja radioamatööriaseman turvallisuutta, radioamatööriviestintää koskevaa lainsäädäntöä ja määräyksiä sekä radioamatööri liikennettä. T1-moduulissa on sähköturvallisuutta ja yleisiä asioita elektroniikasta ja radiotekniikasta. T2-moduuli on T1-moduulin kaltainen, mutta paneutuu enemmän elektroniikan ja radiotekniikan soveltamiseen radioamatööritoiminnassa. Radiolupa voidaan myöntää myös radioamatöörikerholle, jos sillä on aseman valvoja, jolla on radioamatöörin pätevyystodistus. Radioamatööritutkintoja vastaanottavat Suomen Radioamatööriiliiton pätevyystutkijat ja tehtävään nimetyt Traficomien viranhaltijat. Pätevyystodistuksen ja radioluvan myöntää Traficom. Yleisluokka eroaa perusluokasta käytännössä vain tehonkäyttöoikeuksissa: Yleisluokassa suurin sallittu RF-teho on 1500 W, kun se perusluokassa on 120 W.

Radioamatöörilähetinlaite saa toimia vain Traficomien radioamatööritoiminnalle osoittamilla taajuuskaistoilla. Radioamatööriviestinnälle varattu alin taajuus on 137,5 kHz ja ylin 250 GHz. Kullakin taajuuskaistalla on määritetty suurimmat sallitut lähetimen RF-tehot, jotka ovat 120 W perusluokassa ja 1500 W yleisluokassa taajuuksilla 1,81 – 1,85 MHz sekä 3,5 – 29,7 MHz välisillä taajuuskaistoilla (Traficom 2019). Ylemmillä taajuuksilla sallitaan vastaavasti 30 W ja 150 W RF-tehot. Häiriöiden minimoimiseksi on hyvä käyttää niin pientä lähetystehoa ja niin kapeaa taajuuskaistaa kuin yhteyden aikaansaamiseksi tarvitaan. Jos lähetimen maksimiteho on suurempi kuin radioamatööritoiminnassa sallittu suurin teho, lähettimeen on kytkettävä RF-tehomittari lähetystehon monitorointiin. Lähetimen lähetystaajuuden on pysyttävä mahdollisimman vakaana ja radioamatööritoiminnalle varatuilla taajuuskaistoilla. Harhalähetteen (lähetteen muilla kuin lähetystaajuudella) on oltava mahdollisimman vähäisiä, eivätkä ne saa häiritä muuta radioviestintää.

Radioamatööriasema ei saa aiheuttaa muuhun radiolaitteeseen, telepäätelaitteeseen, sähkölaitteeseen tai televerkkoon sellaista kentänvoimakkuutta, joka ylittää näiden

häiriönsietokykyvaatimuksen mukaisen rajan. Tarvittaessa häiriö on poistettava tai rajoitettava sähköisen viestinnän palveluista annetun lain (917/2014) 277 §:n mukaisesti. Ihmisten altistumisesta sähkömagneettisille kentille ei ole suoranaisesti mainintaa määräyksessä eikä laissa (917/2014). Tämän lain 243 §:n kohdan 6 mukaan viestintäverkot ja palvelut on suunniteltava, rakennettava ja ylläpidettävä siten, että kenenkään terveyttä tai omaisuutta ei vaaranneta. Tämä liittyy radioamatöörilähetinlaitteiden sähkö- ja säteilyturvallisuuteen.

Radiolaitedirektiivissä 2014/53/EU esitettyjen vaatimusten mukaisesti radiolaitteiden käytöstä ei saa aiheutua vaaraa ihmisille, kotieläimille eikä ympäristölle. Direktiiviä ei kuitenkaan sovelleta radioamatööritoimintaan. Se ei koske Kansainvälisen televiestintäliiton (ITU) radio-ohjesäännön 1 artiklan 56 määritelmän mukaisia radioamatöörien käyttämiä radiolaitteita paitsi, jos kyseiset laitteet asetetaan saataville markkinoilla. Seuraavien laitteiden ei katsota olevan markkinoilla saataville asetettuja laitteita: a) radioamatöörien koottaviksi ja käytettäväiksi tarkoitetut rakennussarjat; b) radioamatöörien omaan käyttöönsä muuntamat radiolaitteet; c) yksittäisten radioamatöörien rakentamat laitteet, joita käytetään radioamatööritoimintaan liittyvissä kokeellisissa ja tieteellisissä tarkoituksissa.

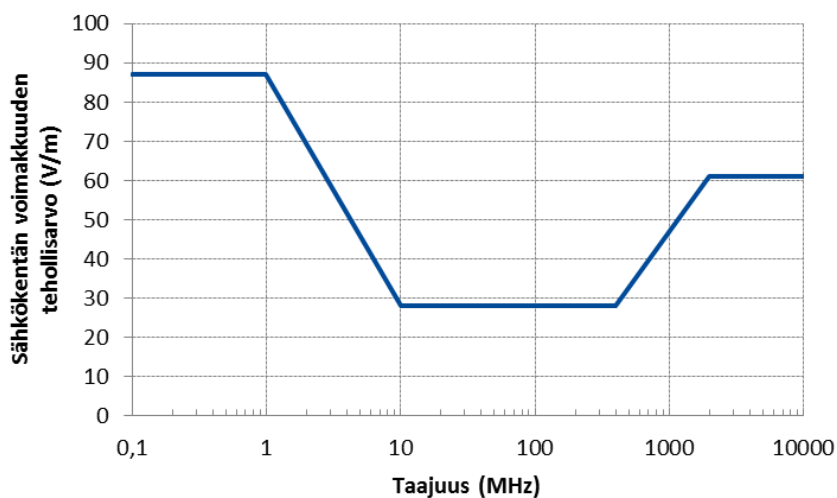
3 Väestön altistusta radiotaajuisille sähkö- ja magneettikentille rajoittavia säädöksiä

Altistusta sähkömagneettiselle kentälle rajoitetaan säteilylailla (859/2018) ja sen nojalla annetulla sosiaali- ja terveysministeriön (STM) asetuksella (1045/2018). Asetuksen raja-arvot ja toimenpidetasot (STM 2018) ovat RF-kenttien osalta (taajuusalue 100 kHz – 300 GHz) pieniä poikkeuksia lukuun ottamatta Euroopan unionin neuvoston suosituksen (1999/519/EY) mukaisia, ja ne perustuvat kansainvälisen ionisoimattoman säteilyn komission ICNIRPin vuonna 1998 julkaisemiin ohjearvoihin (ICNIRP 1998). Altistuksen raja-arvot on annettu kehon sisäisinä suureina, joita ei voi mitata. Raja-arvoista on johdettu toimenpidetasot kehon ulkoisina sähkö- ja magneettikentän voimakkuuksina, jotka voidaan mitata. Radiotaajuuksilla kehoon kohdistuvan sähkö- tai magneettikentän voimakkuuden toimenpidetasot esitetään tehollisarvoina taulukossa 1. Kentänvoimakkuuden neliö määritetään keskiarvona kuuden minuutin ajanjaksoilta. Hetkellinen kentänvoimakkuus saa olla korkeintaan 32-kertainen taajuuksilla 10 MHz – 10 GHz ja 1,4 – 32-kertainen alle 10 MHz taajuuksilla taulukossa 1 esitettyihin kentänvoimakkuuden arvoihin verrattuna. Toimenpidetasot esitetään taajuuksilla 100 kHz – 10 GHz sähkökentän voimakkuuden tehollisarvoina kuvassa 1 ja magneettikentän voimakkuuden tehollisarvoina kuvassa 2.

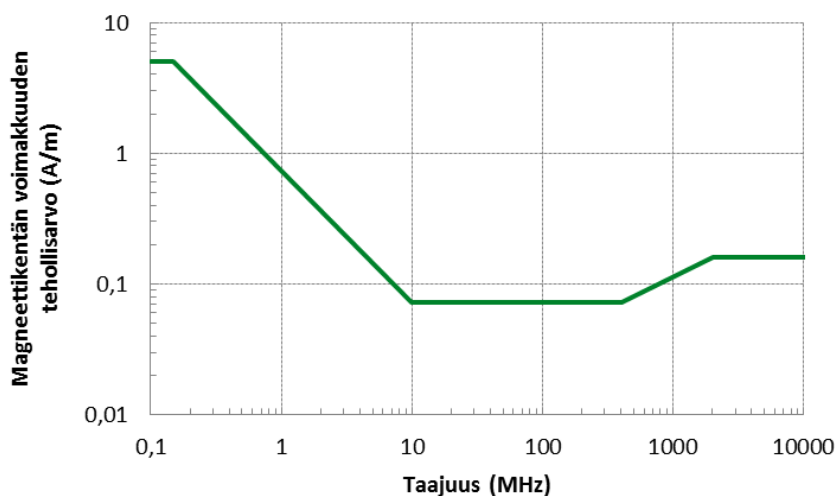
Kun altistus radiotaajuisille sähkö- ja magneettikentille on raja-arvoja ja toimenpidetasoja pienempää, ei aiheudu haitallisia kudosaivourioita tai muutoksia elintoiminnoissa. RF-kenttien terveyshaittoja on selvitetty tuhansissa tutkimuksissa. Kansainväliset asiantuntijaryhmät, kuten Euroopan komission tiedekomitea SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, nykyisin SCHEER, Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks), maailman terveysjärjestö WHO, kansainvälinen ionisoimattoman säteilyn komissio ICNIRP sekä Yhdistyneen kuningaskunnan terveydensuojeluviranomaisen (Public Health England, aikaisemmin Health Protection Agency (HPA)) ja Ruotsin säteilyturvallisuusviranomaisen (SSM) neuvoa-antavat ulkopuoliset asiantuntijaryhmät, ovat tehneet näistä tutkimuksista laajoja kirjallisuuskatsauksia (HPA 2012, IARC 2013, SCENIHR 2015, SSM 2020). Katsausten mukaan RF-kenttien ei ole todettu aiheuttaneen terveydellistä haittaa pitkäaikaisessa altistuksessa, kun altistus on ollut raja-arvoja vähäisempää. Matkapuhelimen säteilyn mahdollisista pitkäaikaisvaikutuksista ei ole vielä täyttä varmuutta, ja siksi asiaa on hyvä tutkia edelleen. Toimenpidetasoja pienemmillä kentänvoimakkuuksilla ei ole havaittu kehon aktiivisten implanttien, kuten sydämentahdistimien, toimintahäiriöitä eikä haitallisia vaikutuksia sikiölle.

Taulukko 1. STM:n asetuksessa (1045/2018) vahvistetut sähkö- ja magneettikentän voimakkuuksien toimenpidetasot tehollisarvoina taajuuksilla 100 kHz – 300 GHz.

Taajuus	Sähkökentän voimakkuus V/m	Magneettikentän voimakkuus A/m
0,1 – 0,15 MHz	87	5
0,15 – 1 MHz	87	$0,73/f$
1 – 10 MHz	$87/\sqrt{f}$	$0,73/f$
10 – 400 MHz	28	0,073
400 - 2000 MHz	$1,38\sqrt{f}$	$0,0037\sqrt{f}$
2 – 300 GHz	61	0,16
<i>f</i> megahertseinä		



Kuva 1. STM:n asetuksessa (1045/2018) vahvistetut sähkökentän voimakkuuden toimenpidetasot tehollisarvoina taajuuksilla 100 kHz – 10 GHz.



Kuva 2. STM:n asetuksessa (1045/2018) vahvistetut magneettikentän voimakkuuden toimenpidetasot tehollisarvoina taajuuksilla 100 kHz – 10 GHz.

4 Radioamatööriasemien laitteet ja liikennöintitavat sekä altistuksen arviointi

Radioamatööriasemalla on tyypillisesti lähetin/vastaanotinlaitteisto, jonka ulostulo on tarvittaessa kytketty RF-vahvistimeen. Lähetysignaali syötetään siirtojohdolla antennin sisäänmenoon, joka voi olla kymmenien metrien etäisyydellä lähetimestä ja RF-vahvistimesta. Siirtojohtona käytetään yleensä koaksiaalista RF-kaapelia, mutta myös parijohtoa tai aaltoputkea voidaan käyttää. RF-teho voi vaimentua kymmenien metrien pituisessa siirtojohdossa siten, että se on antennin sisäänmenossa (syöttöteho) vähemmän kuin puolet lähetimen tai RF-vahvistimen ulostulotehosta (lähetinteho). Lähetimen tai RF-vahvistimen ulostulon ja siirtojohdon sisäänmenon välissä voi olla antenniin menevän RF-tehon optimoiva antenninviritin ja RF-tehomittari, joka näyttää siirtojohtoon menevän ja siitä heijastuvan RF-tehon. Tällainen RF-tehomittari voi olla myös sisäänrakennettuna lähettimessä tai RF-vahvistimessa.

Radioyhteydessä käytettävä taajuus riippuu yhteysvälin pituudesta, käytettävissä olevasta RF-tehosta ja antennille saatavissa olevasta tilasta. Taajuusalueella 0,3 – 30 MHz pitkä yhteysväli saadaan aikaan jo suhteellisen pienellä teholla. Tällöin joudutaan käyttämään suurta antennia, joka on yleensä asennettava korkealle mastoon. Tällöin saadaan radioyhteys käytännössä kaikkialle maapallolla. Lyhyillä yhteysväleillä voidaan käyttää korkeampia taajuuksia, kuten 50 MHz, 144 MHz ja 432 MHz taajuusalueita, ja pientä antennia kuten piiska-antennia (monopoli) tai yagi-antennia. Pidemmille yhteysväleille on näillä taajuuksilla käytettävä korkealle mastoon tai korkean kerrostalon katolle asennettua suunta-antennia.

4.1 Lähetinlaitteisto

Tyypillisessä radioamatöörin lähetinlaitteistossa on lähetin/vastaanotin (transceiver). Lähettimessä on radioamatööreille varatut taajuuskaistat taajuuksilla 1,8 – 54 MHz. Lähetimen maksimiteho on tyypillisesti 100 W. On myös laajakaistaisempia laitteita, jotka sisältävät radioamatöörien taajuuskaistat taajuuksilla 100 kHz – 430 MHz. Lähetysignaali voi olla jatkuva kantaalto (CW), amplitudimoduloitu (AM, kantaalto ja molemmat sivukaistat tai SSB, yksi sivukaista), taajuusmoduloitu (FM), tai FSK (Frequency Shift Keying) -moduloitu dataa lähetettäessä. Samoissa laitteissa on vastaanottimet, joiden taajuusalue on aukoton lähetimen alimman ja ylimmän taajuuden välillä. Optiona lähettimeen saa automaattisen antenninvirittimen, joka optimoi antenniin menevän tehon. Lähettimeen voidaan kytkeä RF-vahvistin 100 W suurempien lähetintehojen aikaan saamiseksi.

Säteilyturvallisuus on huomioitu näiden laitteiden käsikirjoissa tai käyttöohjeissa. On huolehdittava siitä, että antenneja ei pääse koskemaan eikä niiden läheisyydessä ole ihmisiä eikä kotieläimiä, kun lähetys on päällä. Joissakin ohjeissa annetaan lisäksi vaadittavat turvaetäisyydet antennista sen ala- ja etupuolelle, kun antenniin syötetään RF-teho.

4.2 Antennit

Antenneilla ja niiden sijoituksella on keskeinen merkitys radioamatööriaseman toiminnassa ja säteilyturvallisudessa. Korkealle mastoon asennetuilla antenneilla saadaan toisaalta toimivat radioyhteydet ja toisaalta varmistetaan, että maan pinnalla altistus RF-kentille on vähäistä. Taajamissa ei ole kuitenkaan aina tilaa mastoille tai suurikokoisille antenneille, vaan joudutaan käyttämään kerrostalojen katolle asennettuja pienikokoisia antenneja.

Radioamatöörit käyttävät pitkälanka-antenneja, yagi-antenneja, monopoliantenneja ja erikoisantenneja. Pitkälanka-antenni asennetaan muutaman metrin korkeuteen maan pinnasta, ja sitä käytetään yleensä pienillä taajuuksilla (alle 10 MHz). Pitkälanka-antenni voi olla puolialtrodipoli, jonka syöttöpiste on lanka-antennin puolivälissä. Dipoli voi olla vaakasuorassa tai vinossa asennossa (vino dipoli). Vinodipolin alemman haaran tukilanka voidaan ankkuroida maahan, jolloin vain ylemmän haaran tukilanka on kiinnitettävä korkealle puuhun tai mastoon. Pitkälanka-antennista saadaan dipolia laajakaistaisempi, kun syöttöpiste sijoitetaan muualle kuin keskelle (Windom eli OFCD (Off Centre Fed) -antenni). Pitkälanka-antenni saadaan dipolia suuntaavammaksi, kun se asennetaan vinoneliön muotoiseksi vaakaluupiksi (rombiantenni), jota syötetään yhdestä kulmasta kuorman ollessa vastakkaisessa kulmassa.

Pystymonopolia käytetään pidennyskeloin varustettuna myös alle 10 MHz taajuuksilla. Periaatteessa maan pinta toimii maatasona, mutta parempien radioyhteyksien aikaan saamiseksi keinotekoinen maataso luodaan muutaman metrin korkeuteen maasta tai muusta alustasta monopolin tyveen kiinnitetyillä maadoituslangoilla, kuten kuvista 6a ja 15 voidaan havaita.

Yli 10 MHz taajuuksilla käytetään yagi-antenneja, joita esittävät kuvat 6b, 7, 10 ja 11. Yagi-antennissa säteilevänä elementtinä on puolialtrodipoli, jonka suuntaavuutta parannetaan taakse asennetulla heijastimella ja eteen asennetuilla suuntaajilla. Suuntaavuus kasvaa suuntaja-elementtien määrän lisäntyessä. Taajuuden kasvaessa elementtien koko ja välimatka pienenevät, jolloin pienikokoisellakin antennilla saadaan kohtuullinen vahvistus. Yagi-antenni on radioamatöörien eniten käyttämä antenni.

Kehä- eli silmukka-antenneistakin voidaan tehdä yagi-antennien kaltaisia ryhmiä. Silmukat voivat olla neliön tai vinoneliön muotoisia, ja erikokoisia eri taajuuksilla toimivia silmukoita voidaan asentaa sisäkkäin. Kuvan 12 quad-antennissa on kaksi elementtiä (säteilijä ja heijastaja), joissa on kolme sisäkkäistä neliömäistä silmukkaa. Quad-antennien käyttö on vähentynyt radioamatööritoiminnassa.

Radioamatööreillä on myös erikoisantenneja, kuten ajoneuvon katolle asennettu pystyluuppi antenni (kuva 18) ja kuvan 16 esittämä matalaan mastoon asennettu tripoli, joka koostuu kolmesta haarasta. Tripolilla saadaan aikaan kiertopolarisoitu radioaalto, kun taas muut edellä mainitut antennit synnyttävät lineaaripolarisoidun radioaallon. Radioamatöörit käyttävät myös kuuta passiivisena radioaaltojen heijastajana (Tampereen teekkarien radiokerho 2011). Tällöin käytetään hyvin suuntaavia antenneja: 50 MHz, 144 MHz ja 432 MHz taajuusalueilla pitkiä yagi-antenneja tai yagi-antenniryhmiä ja ylemmillä taajuusalueilla paraboloidiantenneja. Alimmilla taajuusalueilla tarvitaan myös suuri RF-teho, jopa 2000 W, johon vaaditaan Traficomin erikoislupa.

4.3 Liikennöintitavat

Radioamatööriaseman lähete voi olla sähkötystä, puhetta tai bittejä. Sähkötytys on yksinkertaisin menetelmä lähettää radiosignaali. Se ei vaadi laajaa taajuuskaistaa ja voidaan erottaa heikollakin yhteydellä kohinan ja häiriöiden seasta. Ensimmäisissä radioyhteyksissä käytettiin sähkötystä, mutta nykyisin käytetään myös puhetta. Puhelähetyksissä käytetään SSB (Single Side Band) tai FM (taajuus) -modulaatiota. SSB:ssä kantaalto on vaimennettu. Radioamatööriasema voi lähettää myös ns. digimodea, jolloin aseman lähettimeen kytketään tietokone, johon on asennettu liikennöinnin hoitava ohjelmisto. Digimodessa on erilaisia liikennöintitapoja, kuten FT8, RTTY (vanha teleksien lähetysmuoto), SSTV (kuvan lähetys) ja ATV (liikkuvan kuvan lähetys), ja lukuisia eri modulaatioita, mm. FSK (frequency shift keying) tai AFSK (audio frequency shift keying). Suosituin digimode on nykyisin FT8, joka käyttää FSK-8-modulaatiota.

4.4 Altistuksen arviointi

Radiotaajuiselle sähkö- ja magneettikentälle altistus määritetään keskiarvona kuuden minuutin ajanjaksoilta. Kun altistus määritetään kentänvoimakkuuksien mittauksilla, ne on käytännöllisintä tehdä aseman lähettäessä jatkuvaa kantaaltoa. Mittaustulokset on sitten skaalattava aseman keskimääräiseen lähetintehoon kuuden minuutin ajanjaksoilla. Skaalauksessa käytettävä kerroin riippuu lähetteen modulaatiosta ja siitä, miten suuren osan yhteysajasta asema lähettää. On siis tiedettävä lähetteen tehosuhte eli keskimääräisen lähetystehon suhde kantaaltootehoon kullakin modulaatiolla ja aseman lähetysuhte eli miten suuren osan yhteysajasta asema lähettää. Yhdysvaltalaisen viestintäviranomaisen FCC:n taulukon mukaan tehosuhte on SSB:llä 0,2 (ilman puheen prosessointia) tai 0,5 (tehokas puheen prosessointi), FM:llä ja FSK:lla 1 ja sähkötyksellä 0,4 (Ulcek ja Cleveland 1997). Kahden aseman välisessä yhteydessä kummankin aseman voidaan olettaa lähettävän ja vastaanottavan saman ajan. Kummankin aseman lähetysteho on siten päällä enintään puolet yhteysajasta eli lähetysuhte on enintään 0,5. Kun tämä lähetysuhte huomioidaan, aseman toimintasuhde olisi SSB:llä 0,1 tai 0,25, sähkötyksellä 0,2 ja FM:llä sekä digimodeilla 0,5. Ruotsalaisessa tutkimuksessa radioamatööriaseman tyypillisen toimintasuhteen arvioitiin olevan 0,10 – 0,12 (Markström 2016).

Altistusta radioamatööriaseman aiheuttamille RF-kentille voi arvioida kansainvälisen radioamatööriiliiton nettisivulta ladattavalla laskentaohjelmalla IcnirpCalc (<https://www.iaru-r1.org/index.php/emc>). Sillä voi laskea suurimman etäisyyden, jolla ICNIRPin vuonna 1998 julkaisema sähkökentän voimakkuuden viitearvo eli STM:n asetuksen (1045/2018) toimenpidetaso vielä ylittyy. Lähtötietoina ohjelmaan voi syöttää lähetystehon ja -taajuusalueen, modulaation, lähetysuhteen, RF-kaapelin vaimennuksen ja antennin tyyppin sekä asennuskorkeuden. Tietyille RF-kaapeleille ja antennille on valikoissa valmiit tiedot. Suurin etäisyys, jolla toimenpidetaso ylittyy, on antennin edessä samalla korkeudella kuin antenni. Ohjelma laskee myös antennin alapuolella minimikorkeuden, jolla toimenpidetaso ylittyy. Ohjelmaa voi siten käyttää hyväksi, kun suunnitellaan ja asennetaan radioamatööriaseman antennilaitteistoa.

5 Radiotaajuisten sähkö- ja magneettikenttien mittausmenetelmä

5.1 Mittauslaitteet

Radioamatööriasemilla altistus määritetään useimmiten antennien lähellä ns. lähikentässä, jossa sähkö- ja magneettikentän suhde muuttuu paikan funktiona. Siksi on mitattava erikseen sähkö- ja magneettikentän voimakkuudet. Kaukana antennista eli kaukokentässä sähkö- ja magneettikentän suhde on vakio, jolloin riittää jommankumman kentänvoimakkuuden mittaus.

Sähkökentän voimakkuus mitattiin laajakaistaisella RF-kentän mittarilla Narda EMR-300 (sno AS-0075), johon oli kytketty isotrooppinen sähkökentän mittapää type 8.3 (sno AT-0033). Mittapään taajuusalue on 100 kHz – 3 GHz ja mittausalue 0,6 – 800 V/m. Mittari ja mittapää esitetään kuvassa 3.



Kuva 3. Sähkökentän voimakkuuden mittauksissa käytetty Narda EMR-300-mittari ja mittapää type 8.3.

Magneettikentän voimakkuus mitattiin laajakaistaisella RF-kentän mittarilla Narda NBM-550 (sno E-1079), johon oli kytketty isotrooppinen magneettikentän mittapää HF3061 (sno D-0314,) tai HF0191 (sno D-0319,). Mittapään HF3061 taajuusalue on 300 kHz – 30 MHz ja mittausalue 0,012 -16 A/m. Mittapään HF0191 vastaavat alueet ovat 27 MHz – 1 GHz ja 0,018 – 16 A/m. Mittari ja mittapää HF3061 esitetään kuvassa 4.



Kuva 4. Magneettikentän voimakkuuden mittauksissa käytetty Narda NBM-550-mittari ja HF3061-mittapää.

Molempien mittarien mittapäissä on kolme toisiaan vastaan kohtisuorassa olevaa anturia, jolloin mittarien lukemat eivät riipu aallon tulosuunnasta eivätkä polarisaatiosta. Antureihin indusoituvat radiotaajuiset jännitteet ilmaistaan diodeilla. Diodeilla ilmaistut jännitteet siirtyvät mittariosaan resistiivisiä johtoja pitkin. Näihin johtoihin RF-kentät eivät kytkeydy, eivätkä ne toisaalta häiritse mitattavia RF-kenttiä.

RF-kentän spektri mitattiin selektiivisellä RF-kenttien mittarilla Narda SRM-3006 (sno L-0058), johon oli kytketty kolmiakselinen sähkökentän antenni 3501/03 (sno K-1294). Antennin taajuusalue on 27 MHz – 3 GHz ja mittaalue 0,2 mV/m – 200 V/m. Mittaria ja antennia esittää kuva 5. Kolmiakselisessa sähkökentän antennissa on kolme dipolia kohtisuorassa toisiaan vastaan, joten mittarilla saadaan aallon tulosuunnasta ja polarisaatiosta riippumaton lukema. Dipoleihin indusoituva radiotaajuinen jännite siirretään mittariosaan (spektrianalysaattoriin). Selektiivisellä mittarilla mitattiin spektrin lisäksi antennin kaukokentässä 1 V/m pienempiä sähkökentän voimakkuuksia, joiden mittaamiseen laajakaistaisen sähkökentän mittarin herkkyyks ei riittänyt.



Kuva 5. RF-kentän spektrin ja pienien sähkökentän voimakkuuksien mittauksiin käytetty selektiivinen Narda SRM-3006-mittari ja kolmiakselinen antenni 3501/03.

5.2 Mittausmenetelmä

Sähkö- ja magneettikentän voimakkuus mitattiin pitämällä mittapäätä kahden metrin korkeudella maasta tai muusta alustasta. Tällä mittauskorkeudella mitaajan keho häiritsi RF-kenttää merkittävästi vähemmän kuin metrin korkeudella. Puisen kolmijalan käyttö ja mittapään kiinnittäminen siihen oli käytännössä mahdotonta useissa mittauspaikeissa epätasaisen maaston ja kasvillisuuden takia. Kahden metrin korkeudella mitatut kentänvoimakkuudet olivat hieman suurempia kuin metrin korkeudella mitatut, joten mittaustulokset eivät ainakaan aliarvioineet altistusta radioamatööriasemien RF-kentille.

Kentänvoimakkuudet mitattiin radioamatööriaseman lähettäessä moduloimatonta kantoaaltoa eli jatkuvaa sinimuotoista signaalia. Mittarit ja mittapäät on kalibroitu tällaisella signaalilla, eikä signaalin modulaatio siten aiheuttanut lisävirhettä mittauksiin. Laajakaistaisen radiotaajuisen säteilyn mittarien mittapäissä on diodi-ilmaisimet, joiden epälineaarisuuden vuoksi signaalin modulaatio olisi aiheuttanut merkittävän virheen näillä mittausrakenteilla saatuihin tuloksiin.

5.3 Mittausolosuhteet

Mittaukset tehtiin ulkona poutaisella säällä noin 20 °C lämpötilassa. Mittauslämpötila oli siten lähellä lämpötilaa, jossa mittauslaitteet on kalibroitu. Lämpötila ei siten aiheuttanut lisävirhettä mittauksiin.

5.4 Mittausten epävarmuus ja jäljitettävyyys

Sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden mittausten arvioitu epävarmuus on ± 3 dB (+ 41 %, – 29 %), joka aiheutuu mittapäiden epäisotrooppisuudesta, epälineaarisuudesta ja ympäristöstä tapahtuvista heijastuksista sekä mittauslaitteiden kalibroinnin epävarmuudesta.

Valmistaja on kalibroinut laajakaistaisen RF-kentän mittarin Narda NBM-550 ja sen mittapäät vuonna 2017 ja Narda EMR-300-mittarin mittapäineen vuonna 2012. Selektiivisen RF-kentän mittarin Narda SRM-3006 mittaussantenneineen valmistaja on kalibroinut vuonna 2015. Kaikkien mittauslaitteiden toiminta tarkistettiin STUKin kalibrointilaitteistolla ennen mittauksia.

Mittauslaitteiden kalibroinnin epävarmuudeksi valmistaja on 95 % luottamusvälillä arvioinut ± 1 dB (± 12 %). Valmistajan kalibroinnin laatujärjestelmä on standardin ISO 9001 mukainen ja metrologinen laadunvarmistus on standardin ISO 10012-1 mukainen.

6 Radioamatööriasemien antennien mittaustulokset

Radioamatööriaseman aiheuttaman altistuksen selvittämiseksi mitattiin eri tavalla asennettujen ja erityyppisten antennien aiheuttamia radiotaajuisia sähkö- ja magneettikenttiä useilla eri taajuuksilla. RF-kentät mitattiin kahdeksalta asemalta, joista kolme sijaitsi esikaupunkialueella, yksi taajamassa ja kolme maaseudulla sekä yksi oli ajoneuvon asennettu. RF-kentät mitattiin paikoista, joihin väestöllä on vapaa pääsy. Joidenkin antennien läheisyydessä mitattiin olosuhteiden niin mahdollistaessa RF-kentät etäisyyden funktiona antennin mastosta. Joissakin tapauksissa, esimerkiksi yagi- ja pitkälanka-antenneilla, mittaustulokset skaalattiin suurimmalle sallitulle 1500 W lähetinteholle suurimman altistuksen selvittämiseksi. Sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden lisäksi määritettiin näitä vastaavat altistussuhteet ER , jotka saadaan prosentteina kaavasta

$$ER = 100 \cdot \left(\frac{A_m}{A_l} \right)^2, \quad (1)$$

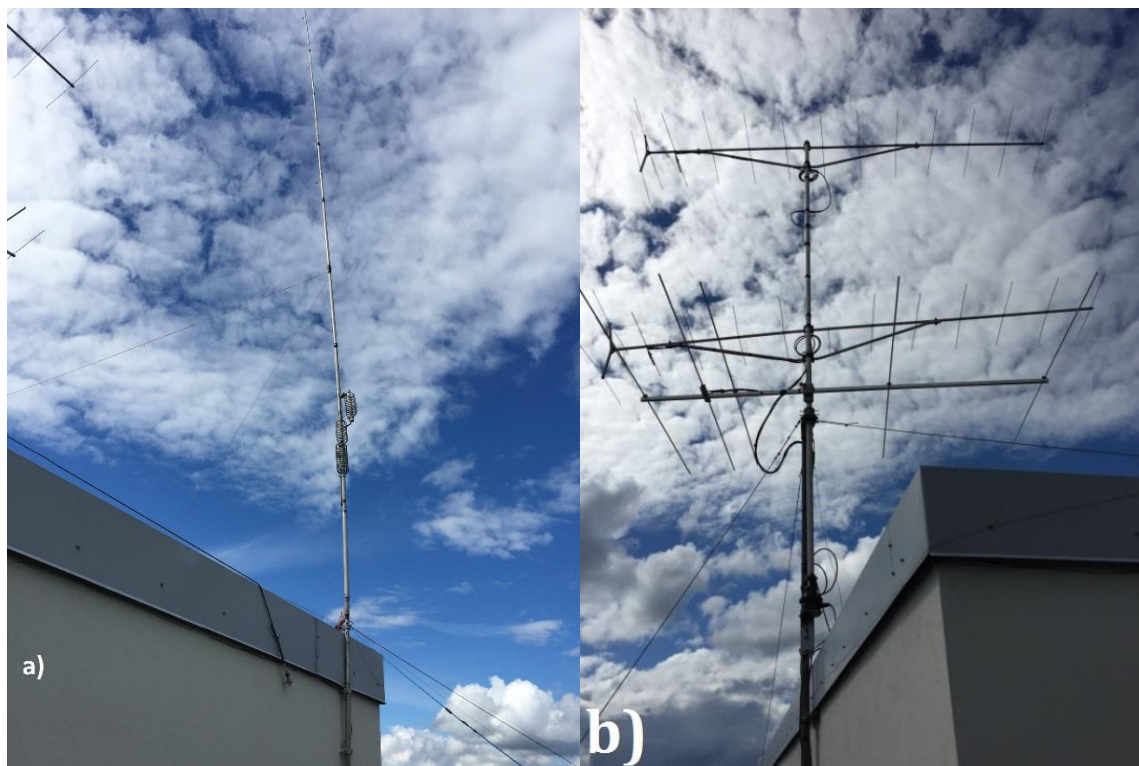
missä A_m on mitattu sähkö- tai magneettikentän voimakkuus ja A_l on sähkö- tai magneettikentän voimakkuuden toimenpidetaso kyseisellä taajuudella (ks. taulukko 1). Altistussuhde on verrannollinen lähetintehoon ja toimintasuhteeseen. Altistus on toimenpidetasoa pienempi, kun altistussuhde on vähemmän kuin 100 %.

Antennit oli asennettu kerrostalon tai ajoneuvon katolle, mastoon, puihin tai maan pinnan läheisyyteen. Yleisin mitattu antennityyppi oli yagi-antenni (kuvat 6b, 7, 10 ja 11). Lisäksi mitattiin monopolien (kuvat 6a ja 15), luuppien, pitkälanka-antennien ja quad-antennin (kuva 12) aiheuttamia sähkö- ja magneettikenttiä. Lähetystaajuuksien olivat taajuuksien 3,7 MHz ja 144 MHz välillä radioamatööreille varatuilla taajuuskaistoilla lukuun ottamatta 5 MHz ja 70 MHz taajuuskaistaa.

6.1 Kerrostalon katolle asennetut antennit

Radioamatööriaseman antennit oli asennettu kerrostalon katolle saunaosaston katon reunalle. Antenneja esittää kuva 6. Taajuudella 28 MHz käytettiin kuvan 6a esittämää alumiiniputkesta valmistettua monopolia, jonka pituus oli 6,5 m ja joka oli varustettu maatasolangoilla ja Butternut HF6 –keloilla. Antennin maataso oli 3,5 m korkeudella saunaosaston lattiasta ja saunaosaston vieressä sijaitsevasta kattotasanteesta. Taajuudella 50 MHz käytettiin kuvassa 6b näkyvää alemmaa 5-elementtistä yagi-antennia ja taajuudella 144 MHz ylempää 2x12-elementtistä yagi-antennia.

RF-teho syötettiin talon kolmannessa kerroksessa sijaitsevista lähettimistä talon ulkoseinälle asennetuilla RF-kaapeleilla antenneihin. Lähettiminä olivat HF radio ICOM 7200 taajuuksilla 28 MHz ja 50 MHz ja HF-VHF radio Yaesu 897 kytkettynä 300 W RF-tehovahvistimeen taajuudella 144 MHz. Ulostuleva RF-teho mitattiin HF VCI Vectronics ja DAIWA –tehomittarilla. Lähettimien ulostulotehojen (100 W ja 300 W) ja RF-kaapelien vaimennusten perusteella antennien arvioidut syöttötehot olivat mittausten aikana seuraavat: monopoli 86 W, 5-elementtinen yagi 82 W ja 2x12-elementtinen yagi 270 W.



Kuva 6. Kerrostalon katolle asennetut antennit. a) monopoliantenni taajuudella 28 MHz ja b) 5-elementtinen yagi-antenni alhaalla taajuudella 50 MHz sekä 2x12-elementtinen yagi-antenni ylhäällä taajuudella 144 MHz.

Sisätilojen lisäksi RF-kentät mitattiin myös ulkona saunaosaston viereisellä kattotasanteella, koska sinne voi mennä saunasta vilvoittelemaan ja sinne on väestöllä vapaa pääsy. Kattotasanteella kullakin taajuudella mitatut suurimmat kentänvoimakkuudet ja vastaavat altistussuhteet esitetään taulukossa 2. Siitä havaitaan, että suurimman kentänvoimakkuuden aiheutti lähimpänä sijainnut monopoliantenni. Ylimpänä sijainnut 2x12-elementtinen yagi-antenni aiheutti pienimmän kentänvoimakkuuden, vaikka siihen syötettiin kolminkertainen teho verrattuna muiden antennien syöttötehoihin.

Taulukko 2. Ulkona katolla mitatut suurimmat sähkö- ja magneettikentän voimakkuudet ja vastaavat altistussuhteet.

Taajuus MHz	Sähkökentän voimakkuus V/m	Sähkökentän altistussuhde %	Magneettikentän voimakkuus A/m	Magneettikentän altistussuhde %
28	72	660	0,15	420
50	23	67	0,033	20
144	3,0	1,1	0,02	7,5

Sisällä saunaosaston viereisellä käytävällä mitatut suurimmat sähkö- ja magneettikentän voimakkuudet ja vastaavat altistussuhteet esitetään taulukossa 3. Vertailu taulukkoon 2 osoittaa, että sisällä kentänvoimakkuudet ovat paljon pienempiä kuin ulkona. Antennit eivät säteile merkittävästi alaspäin ja lisäksi katon rakenteet vaimentavat sähkö- ja magneettikenttää. Toimenpidetasot ylittyvät vain ulkona monopoliantennin läheisyydessä. Magneettikentän

mittapään epäherkkyyden vuoksi ei voitu mitata magneettikentän tasoja, jotka olivat vähemmän kuin 7,5 % toimenpidetasosta.

Taulukko 3. Sisällä saunaosaston viereisellä käytävällä mitatut suurimmat sähkö- ja magneettikentän voimakkuudet ja vastaavat altistussuhteet.

Taajuus MHz	Sähkökentän voimakkuus V/m	Sähkökentän altistussuhde %	Magneettikentän voimakkuus A/m	Magneettikentän altistussuhde %
28	1,5	0,29	0,02	7,5
50	1,0	0,13	<0,02	<7,5
144	1,0	0,13	<0,02	<7,5

Kerrostalon ylimmän kerroksen huoneistossa mitatut suurimmat sähkökentän voimakkuudet ja vastaavat altistussuhteet esitetään taulukossa 4. Suurimmat sähkökentän voimakkuudet mitattiin olohuoneen ikkunan luona. Kaikissa huoneissa sähkökentän voimakkuus pieneni mentäessä pois ikkunan luota. Magneettikentän voimakkuus oli kaikkialla huoneistossa pienempi kuin 0,02 A/m, joka on mittarin herkkyys.

Taulukko 4. Ylimmän kerroksen huoneistossa mitatut suurimmat sähkökentän voimakkuudet ja vastaavat altistussuhteet

	Olohuoneen ikkunan luona		Keskellä olohuonetta	
Taajuus MHz	Sähkökentän voimakkuus V/m	Sähkökentän altistussuhde %	Sähkökentän voimakkuus V/m	Sähkökentän altistussuhde %
28	1,0	0,13	0,5	0,032
50	1,9	0,46	0,5	0,032
144	1,9	0,46	0,5	0,032

6.2 Mastoon asennetut antennit

6.2.1 4+4-elementtinen ja 4-elementtinen yagi-antenni

Yagi-antennit oli asennettu mastoon 9 m (4+4-elementtinen) ja 19 m (4-elementtinen) korkeudelle maasta. Kuva 7 esittää mastoa ja siihen asennettuja antennia. Lähettimenä oli Yaesu 897, joka oli kytketty tehdastekoiseen RF-vahvistimeen. Lähetinteho mitattiin RF-vahvistimen ulostuloon kytketyllä RF-tehomittarilla. Mittaukset tehtiin 500 W lähetinteholla. Mittaustulokset skaalattiin suurimmalle sallitulle 1500 W lähetinteholle.



Kuva 7. Mastoon asennetut 4+4-elementtinen (alin) yagi-antenni taajuuksille 18 ja 25 MHz sekä 4-elementtinen (toiseksi alin) yagi-antenni taajuudelle 14 MHz.

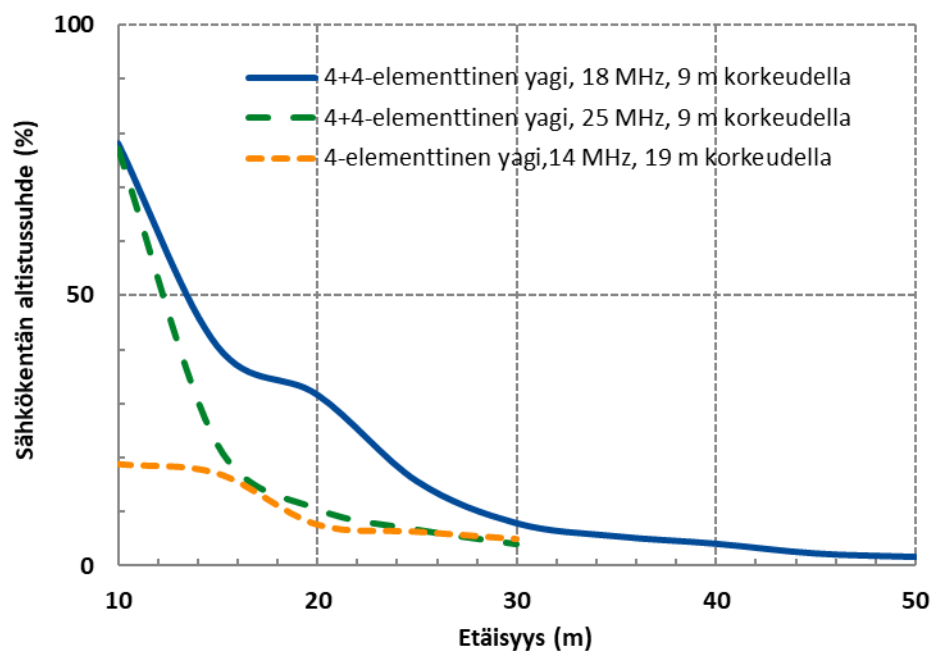
Suurimmat maston läheisyydessä antennien alapuolella mitatut kentänvoimakkuudet ja vastaavat altistussuhteet esitetään taulukossa 5. Lähetinteholla 1500 W 4+4-elementtiseen yagiin meneväksi tehoksi arvioitiin 1230 W taajuudella 18 MHz ja 1200 W taajuudella 25 MHz. Vastaavasti 4-elementtiseen yagiin meneväksi tehoksi arvioitiin 1230 W taajuudella 14 MHz. Taulukosta 5 havaitaan, että 9 m korkeudella sijaitsevan 4+4-elementtisen antennin aiheuttamat kentänvoimakkuudet olivat toimenpidetasoja suurempia, kun taas 19 m korkeudelle asennetun 4-elementtisen antennin aiheuttamat kentänvoimakkuudet olivat selvästi pienempiä kuin toimenpidetasot. Kentänvoimakkuudet yagi-antennin alapuolella maan pinnalla pienenevät siten nopeasti antennin asennuskorkeuden kasvaessa. Magneettikentän altistussuhteet olivat suurempia kuin sähkökentän altistussuhteet.

Taulukko 5. Mastoon 9 m korkeudelle asennetun 4+4-elementtisen ja 19 m korkeudelle asennetun 4-elementtisen yagi-antennin alapuolelta 2 m korkeudella maasta mitatut suurimmat kentänvoimakkuudet ja altistussuhteet skaalattuna 1500 W lähetinteholle.

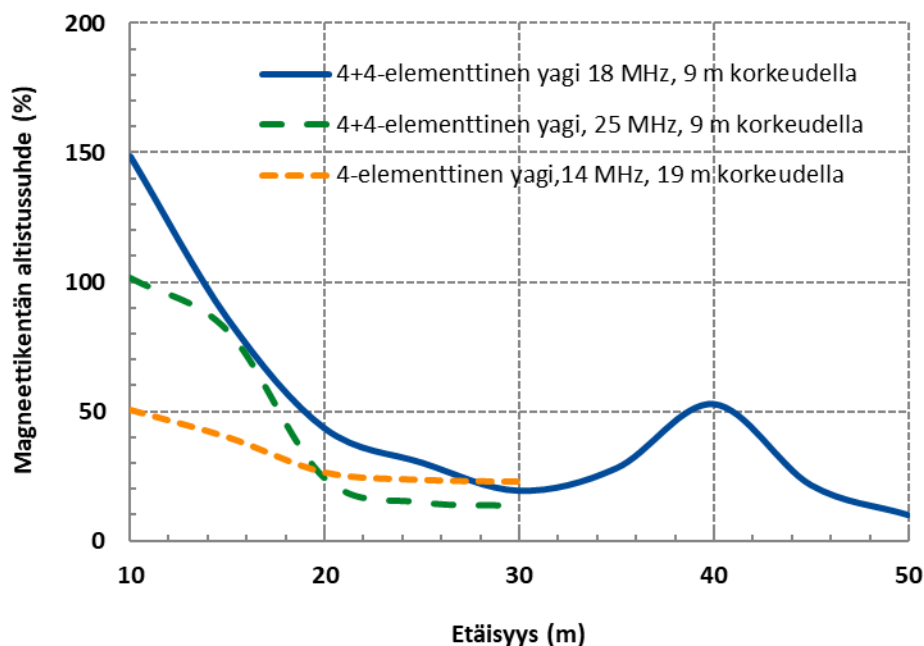
Yagi-antenni	Taajuus MHz	Sähkökentän voimakkuus V/m	Sähkökentän altistussuhde %	Magneettikentän voimakkuus A/m	Magneettikentän altistussuhde %
4+4- elementtinen	18	24	73	0,084	132
4+4- elementtinen	25	50	319	0,15	422
4- elementtinen	14	11	15	0,048	43

Kentänvoimakkuudet mitattiin myös etäisyyden funktiona mastosta yagi-antennien pääkeilan suunnassa kahden metrin korkeudella maasta. Kuvassa 8 esitetään taajuuksilla 14 MHz, 18 MHz ja 25 MHz tehtyjen mittausten tuloksista suurimmalle sallitulle lähetinteholle 1500 W skaalatut sähkökentän altistussuhteet etäisyyden funktiona mastosta. Kuvassa 9 esitetään vastaavat magneettikentän altistussuhteet. Altistussuhteet pienenevät yhtä poikkeusta lukuun ottamatta monotonisesti etäisyyden kasvaessa. Taajuudella 18 MHz mitatussa magneettikentän voimakkuuden käyrässä näyttäisi olevan paikallinen maksimi noin 40 m etäisyydellä mastosta. Se voi kuitenkin johtua magneettikentän mittapäästä, sillä mitatut kentänvoimakkuudet ovat vain hieman suurempia kuin mittapään herkkyys. Kuvista havaitaan, että antennien sähkökentät eivät ylitä 2 m korkeudella maasta toimenpidetasoa yli 10 m etäisyydellä mastosta, mutta 9 m korkeudelle asennetun antennin magneettikenttä ylittää toimenpidetason vielä noin 14 m etäisyydellä mastosta. 19 m korkeudelle asennettu antenni aiheuttaa alle 15 m etäisyydelle mastosta merkittävästi pienemmän kentänvoimakkuuden 2 m korkeudella maasta. Ylemmän antennin aiheuttamat kentänvoimakkuudet pienenevät hitaammin kuin alemman antennin aiheuttamat kentänvoimakkuudet etäisyyden mastosta kasvaessa. Yli 20 m etäisyydellä mastosta mitatut kentänvoimakkuudet eivät riipu enää antennin asennuskorkeudesta.

Pääkeilassa toimenpidetasot ylittyvät, kun etäisyys mastosta on vähemmän kuin 21 m (4-elementtisen yagi-antennin vahvistukseksi oletetaan 8,5 dB). Suurimmalla sallitulla 1500 W lähetysteholla sähkö- ja magneettikentän teoreettinen altistussuhde pääkeilassa on 50 m etäisyydellä 17 % ja 100 m etäisyydellä noin 4 %. Mittaustuloksista laskettu altistussuhde 1500 W lähetinteholla on 50 m etäisyydellä mastosta 1,6 % sähkökentälle ja 10 % magneettikentälle. Vastaavat altistussuhteet skaalattuna 100 m etäisyydellä mastosta olisivat 0,4 % ja 2,5 %.



Kuva 8. Antennien pääkeilan suuntaan 2 m korkeudella maasta taajuuksilla 14, 18 ja 25 MHz etäisyyden funktiona mastosta mitatuista sähkökentän voimakkuuksista suurimmalle sallitulle lähetinteholle 1500 W skaalatut altistussuhteet.



Kuva 9. Antennien pääkeilan suuntaan 2 m korkeudella maasta taajuuksilla 14, 18 ja 25 MHz etäisyyden funktiona mastosta mitatuista magneettikentän voimakkuuksista suurimmalle sallitulle lähetinteholle 1500 W skaalatut altistussuhteet.

6.2.2 3-elementtinen ja 5-elementtinen yagi-antenni

Kuva 10 esittää mastoon 18,5 m korkeudelle asennettua 3-elementtistä yagi-antennia ja 23 m korkeudelle asennettua 5-elementtistä yagi-antennia. Antennit ovat omatekoisia ja perustuvat kaupallisten HyGain 205BA ja 303BA -antennien mitoituksiin. Lähetin koostui IC-756Pro3-radiosta, joka oli kytketty Henry 5K -RF-tehovahvistimeen. Ulostuleva RF-teho mitattiin Bird-tehomittarilla. 3-elementtisen yagin mittaukset tehtiin 500 W lähetinteholla ja mittaustulokset skaalattiin 1500 W lähetinteholle. 5-elementtisen yagin mittaukset tehtiin 1500 W lähetinteholla. RF-kaapeliin vaimennuksen perusteella 3-elementtiseen yagiin meneväksi RF-tehoksi arvioitiin 900 W taajuudella 10,1 MHz ja 5-elementtiseen yagiin meneväksi RF-tehoksi 1000 W taajuudella 21,3 MHz lähetintehon ollessa 1500 W.

Maaston epätasaisuuden ja vaikeakulkuisuuden vuoksi sähkö- ja magneettikentän voimakkuudet mitattiin vain kolmesta mittauspisteestä: etupuolella (pääkeilan alapuolella) 25 m etäisyydellä mastosta, maston juurella ja takapuolella (takakeilan alapuolella) 18 m etäisyydellä mastosta. Mittauspisteet ja -tulokset esitetään taulukossa 6 ja 7. Suurimmat mitatut kentänvoimakkuudet olivat 18,5 m korkeudelle asennetulla antennilla maston juurella ja 23 m korkeudelle asennetulla antennilla sen etupuolella. Sähkökentän voimakkuus ei ylittänyt toimenpidetasoa suurimmalla sallitulla 1500 W lähetinteholla. Magneettikentän voimakkuus ylitti toimenpidetason vain maston juurella RF-kaapelin läheisyydessä.

Pääkeilassa toimenpidetasot ylittyvät suurimmalla sallitulla 1500 W lähetinteholla, kun etäisyys mastosta on vähemmän kuin 13 m (3-elementtinen yagi-antenni, vahvistus 6,7 dB) tai vähemmän kuin 21 m (5-elementtinen yagi-antenni, vahvistus 10,2 dB). Suurimmalla sallitulla 1500 W lähetinteholla sähkö- ja magneettikentän teoreettinen altistussuhde on 3-elementtisen

yagi-antennin pääkeilassa 50 m etäisyydellä noin 7 % ja 100 m etäisyydellä noin 2 % sekä 5-elementtisen yagi-antennin pääkeilassa 50 m etäisyydellä noin 17 % ja 100 m etäisyydellä noin 4 %.



Kuva 10. Mastoon 18,5 m korkeudelle asennettu 3-elementtinen yagi-antenni (10,1 MHz) ja 23 m korkeudelle asennettu 5-elementtinen yagi-antenni (21,3 MHz).

Taulukko 6. Maston läheisyydessä mitatut 3- ja 5-elementtisen yagi-antennin aiheuttamat suurimmat sähkökentän voimakkuudet ja vastaavat altistussuhteet 1500 W lähetinteholla.

Mittauspiste	Sähkökentän voimakkuus V/m		Sähkökentän altistussuhde %	
	3-el. yagi	5-el. yagi	3-el. yagi	5-el. yagi
Etupuolessa, 25 m mastosta	6,6	14	6,0	25
Maston juurella	13	2,8	22	1,0
Takapuolessa, 18 m mastosta	6,1	1,3	4,7	0,22

Taulukko 7. Maston läheisyydessä mitatut 3- ja 5-elementtisen yagi-antennin aiheuttamat suurimmat magneettikentän voimakkuudet ja vastaavat altistussuhteet 1500 W lähetinteholla.

Mittauspiste	Magneettikentän voimakkuus A/m		Magneettikentän altistussuhde %	
	3-el. yagi	5-el. yagi	3-el. yagi	5-el. yagi
Etupuolella, 25 m mastosta	0,069	0,03	89	17
Maston juurella	0,087 ¹⁾	0,02	142 ¹⁾	7,5
Takapuolella, 18 m mastosta	0,035	0,01	23	1,9

¹⁾ Mitattu puolen metrin etäisyydellä mastosta ja RF-kaapelista

6.2.3 4x5-elementtinen yagi-antenni

Kuva 11 esittää mastoon alimmaksi antenniksi asennettua 4x5-elementtistä yagi-antennia, jonka keskipiste on 24 m korkeudella maasta. Antenni on omatekoinen ja mitoitettu kaupallisen M2 6M5X-antennin perusteella. Lähetinlaitteisto ja tehomittari olivat samat kuin edellisessä kohdassa. Mittausten aikana lähetinteholla 100 W antennin syöttötehoksi arvioitiin 80 W taajuudella 51 MHz. Suurin mitattu sähkökentän voimakkuus oli maston juurella ja 50 m etäisyydellä mastosta 0,7 V/m, mikä vastaa altistussuhdetta 0,063 %.



Kuva 11. Mastoon 24 m korkeudelle maasta asennettu 4x5-elementtinen yagi-antenni (51,0 MHz).

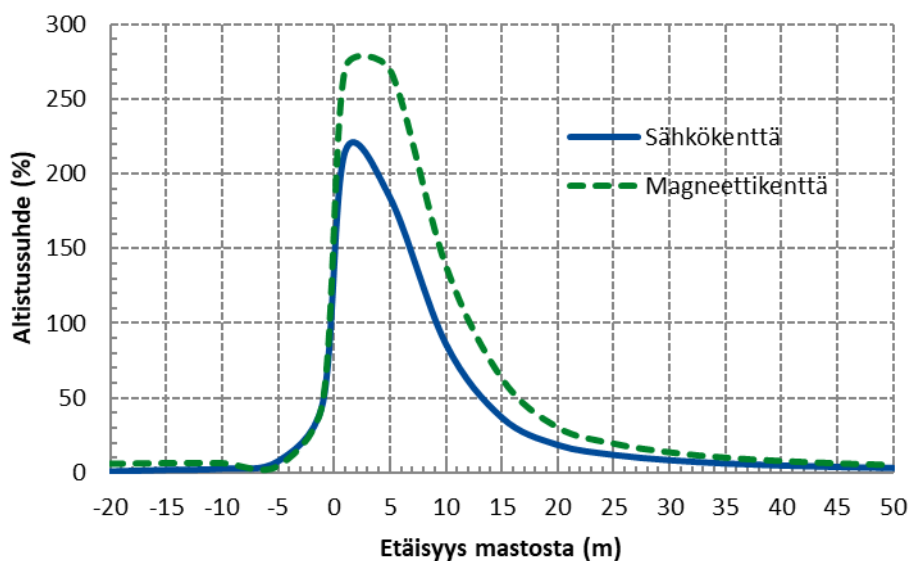
6.2.4 Quad-antenni

Kuvassa 12 on mastoon asennettu quad-antenni. Siinä on kahdessa pystytasossa kolme sisäkkäistä neliömäistä luuppia, joiden sivujen pituudet ovat 2,5 m, 3,5 m ja 5 m. Pystytasojen välimatka on 2,5 m. Antennin keskiakselin eli vaakapuomin korkeus maasta on noin 7,5 m. Lähettimenä oli Kenwood TS-590 ja RF-vahvistimena Linear Amp UK, jonka ulostuloon oli kytketty Daiwa-RF-tehomittari. RF-vahvistimen ja quad-antennin sisäänmenon välillä oli noin 30 m RF50-kaapelia ja noin 40 m RG213-kaapelia.

Lähetinteholla 1500 W antennin syöttötehoksi arvioitiin 750 W taajuudella 28,5 MHz. Antennin edessä ja takana kahden metrin korkeudella maasta mitatuista sähkö- ja magneettikentän voimakkuuksista lasketut altistussuhteet esitetään etäisyyden funktiona mastosta kuvassa 13. Siitä havaitaan, että antenni säteilee enemmän etu- kuin takapuolelleen. Suurimmat sähkö- ja magneettikentät olivat maston juurella antennin etupuolella. Sähkökentän toimenpidetaso ylittyi, kun etäisyys mastosta oli vähemmän kuin 9 m. Vastaava etäisyys magneettikentälle oli hieman yli 12 m.



Kuva 12. Quad-antenni



Kuva 13. Etäisyyden funktiona quad-antennin mastosta 1500 W lähetinteholla mitatuista sähkö- ja magneettikentän voimakkuuksista lasketut altistussuhteet taajuudella 28,5 MHz.

Quad-antennin aiheuttamia kentänvoimakkuuksia mitattiin muutamassa pisteessä myös taajuudella 14,3 MHz syöttöteholla 950 W. Tällä taajuudella antennin säteilevänä osana ovat uloimmat luupit, jolloin alimmat säteilevät osat ovat noin 5 m korkeudella, kun taajuudella 28,5 MHz säteilevien sisimpien luoppien alimmat osat ovat runsaan 6 m korkeudella. Mittaustulokset esitetään taulukossa 8. Taajuudella 28,1 MHz mitattuihin kentänvoimakkuuksiin verrattuna antennin läheisyydessä mitattiin hieman suurempia kentänvoimakkuuksia, koska antennin syöttöteho oli pienemmän kaapelinvaimennuksen vuoksi suurempi ja alimmat antennin osat olivat lähempänä maata. Mittaustuloksista laskettu altistussuhde oli 50 m etäisyydellä mastosta noin 3 % sähkökentälle ja noin 5 % magneettikentälle. Vastaavat altistussuhteet 100 m etäisyydellä mastosta olisivat noin 1 %.

Taulukko 8. Quad-antennin läheisyydessä 2 m korkeudella maasta mitatut kentänvoimakkuudet ja vastaavat altistussuhteet etäisyyden funktiona mastosta 1500 W lähetinteholla 14,3 MHz taajuudella.

Mittauspiste	Sähkökentän voimakkuus V/m	Sähkökentän altistussuhde %	Magneetti- kentän voimakkuus A/m	Magneetti- kentän altistussuhde %
antennin etupuolella				
1 m etäisyydellä mastosta	35	156	0,13	317
5 m etäisyydellä mastosta	20	51	0,08	120
antennin takapuolella				
1 m etäisyydellä mastosta	14	25	0,055	57
5 m etäisyydellä mastosta	11	15	0,040	30
sivulla				
7 m etäisyydellä mastosta	26	86	0,035	23
etupuolella viistoon 10 m etäisyydellä mastosta	20	51	0,030	17
takapuolella viistoon 18 m etäisyydellä mastosta	2,7	0,93	0,015	4,2

6.3 Pitkälanka-antennit

6.3.1 Vaakaluupit

Vaakaluuppi eli rombiantenni koostuu neljästä pitkästä maan pinnan suuntaisesta metallilangasta, jotka muodostavat vinoneliön. Antennia syötetään parijohdolla yhdessä kulmasta ja vastakkaisessa kulmassa on sovitettu kuorma. Antennin pääkeila on vinoneliön lävistäjän suuntainen muodostaen muutaman asteen kulman maahan nähden, kun langat on asennettu 5 – 10 m korkeudelle maasta.

Vaakaluuppi 1 oli asennettu 5 – 8 m korkeudelle maasta. Mittaukset tehtiin lähetinteholla 500 W ja taajuudella 3,7 MHz. Mittaustulokset skaalattiin lähetinteholle 1500 W, jolla antennin syöttötehoksi arvioitiin RF-kaapelin vaimennuksen perusteella 1410 W. Suurin sähkökentän voimakkuus antennin alla oli 68 V/m ja magneettikentän voimakkuus 0,056 A/m. Vastaavat altistussuhteet olivat 226 % ja 8,1 %.

Vaakaluuppi 2 oli asennettu noin 10 m korkeudelle maasta. Mittaukset tehtiin lähetinteholla 100 W ja taajuudella 3,7 MHz. Mittaustulokset skaalattiin lähetinteholle 1500 W. RF-kaapelin vaimennuksen perusteella antennin syöttötehoksi arvioitiin noin 1050 W lähetinteholla 1500 W. Suurin sähkökentän voimakkuus antennin alla oli 39 V/m ja magneettikentän voimakkuus 0,023 A/m. Vastaavat altistussuhteet olivat 74 % ja 1,4 %.

6.3.2 Vinodipolit

Vinodipolit ovat vinoon asennettuja lankamaisia puoli- tai kokoaaltodipoleja, jonka toisen haaran eristävän tukilangan pää on ankkuroitu maan pintaan ja toisen haaran tukilangan pää on kiinnitetty mastoon tai puuhun. Vinodipoli tarvitsee siten vain yhden korkean tukirakenteen. Syöttökaapelin paino, vesi, lumi ja jää eivät rasita antennilankaa samalla tavalla kuin vaakasuoraan asennetussa dipolissa.

Vinodipolin 1 syöttökohta oli noin 24 m korkeudella maasta. Alemman haaran pää oli noin 20 m korkeudella ja ylemmän haaran pää noin 30 m korkeudella maasta. RF-kaapeli vaimensi lähetintehoa 1500 W siten, että antenniin meni noin 1300 W teho taajuudella 3,7 MHz.

Mitatut sähkö- ja magneettikentän voimakkuudet ja altistussuhteet esitetään taulukossa 9. Sähkökentän voimakkuus oli suurimmillaan antennin alimman kohdan alapuolella. Magneettikentän voimakkuus oli suurimmillaan antennin syöttökaapelin lähellä syöttökohdan alapuolella. Syöttökaapelin läheisyys todennäköisesti suurensi magneettikenttää.

Taulukko 9. Vinodipolin 1 alla mitatut sähkö- ja magneettikentän voimakkuudet.

Mittauspiste	Sähkökentän voimakkuus V/m	Sähkökentän altistussuhde %	Magneettikentän voimakkuus A/m	Magneettikentän altistussuhde %
antennin alimman kohdan alapuolella	40	78	0,05	6,4
antennin syöttökohdan alapuolella	24	28	0,20	103
antennin ylimmän kohdan alapuolella	11	5,9	0,04	4,1

Vinodipolin 2 syöttökohta oli noin 24 m korkeudella ja alemman haaran pää noin 8 m korkeudella maan pinnasta. Kuva 14 esittää alemman haaran päätä. Lähetinteho oli 1500 W ja antennin syöttöteho arviolta 1300 W taajuudella 3,5 MHz.

Alemman haaran pään alapuolelta mitattu sähkökentän voimakkuus oli 70 V/m ja magneettikentän voimakkuus 0,043 A/m. Vastaavat altistussuhteet olivat 230 % ja 4,2 %. Vinodipolin 2 alapuolella sijaitsevalla tiellä dipolin haara oli noin 12 m korkeudella. Siellä mitatut kentänvoimakkuudet olivat 40 V/m ja 0,063 A/m sekä vastaavat altistussuhteet 74 % ja 9,1 %. Syöttökohdan alapuolella ei voinut mitata maaston vaikeakulkuisuuden vuoksi. Oletettavasti syöttökohdan alapuolella sähkökentän voimakkuus on pienempi kuin tiellä antennin ja maan välisen etäisyyden kasvaessa ja antennin jännitteen pienetessä. Sitä vastoin magneettikentän voimakkuus voi olla suurempi antennin syöttökohdan virtamaksimin vuoksi.



Kuva 14. Vinodipolin 2 alemman haaran pää.

6.3.3 Windom-antennit

Windom-antenni eli OFCD (Off Centre Fed) -antenni on maan pinnan suuntaisesti asennettu lanka-antenni, jonka syöttöpiste ei ole antennin puolivälissä kuten dipoliantennilla. Lyhyemmän haaran pituus voi olla puolet pidemmän haaran pituudesta. Syöttöpiste voi olla myös kultaisessa leikkauksessa, jolloin lyhyempi haara on noin 62 % pidemmän haaran pituudesta ja pidempi haara on myös noin 62 % koko antennin pituudesta. Lanka-antennista tulee laajakaistaisempi, kun syöttöpiste sijoitetaan muualle kuin puoliväliin.

Windom-antenni 1 oli asennettu 17 - 18 m korkeudelle maasta. Lähetin koostui ICOM 735 – radiosta ja puolijohdevahvistimesta, jossa oli sisäinen RF-tehomittari. Mittauksissa antenniin syötettiin 300 W teho 28,1 MHz taajuudella. Mittaustulokset skaalattiin lähetinteholle 1500 W. Suurin 2 m korkeudella maasta mitattu sähkökentän voimakkuus oli 6,7 V/m ja magneettikentän voimakkuus noin 0,02 A/m. Vastaavat altistussuhteet olivat 5,7 % ja 7,5 %.

Windom-antenni 2 oli asennettu noin 15 m korkeudelle maasta. Mittauksissa antenniin syötettiin 100 W teho 3,7 MHz taajuudella. Mittaustulokset skaalattiin lähetinteholle 1500 W. Suurin 2 m korkeudella maasta mitattu sähkökentän voimakkuus oli 7,7 V/m ja altistussuhde 2,9 %. Magneettikentän voimakkuus oli vähemmän kuin 0,01 A/m (mittarin herkkyys) ja altistussuhde vähemmän kuin 0,3 %.

6.4 Muut maan lähelle asennetut antennit

6.4.1 Monopoli

Kuvassa 15 on maan pinnan lähelle asennettu 10,6 m pituinen monopoli. Maadoituslangoista tehty maataso on 6 m korkeudella maasta. Mittaukset tehtiin lähetinteholla 500 W ja taajuudella 7 MHz. Mittaustulokset skaalattiin lähetinteholle 1500 W. Antenniin menevän tehon arvioitiin olevan 1320 W lähetinteholla 1500 W. Suurin sähkökentän voimakkuus 66 V/m mitattiin 5 m etäisyydellä monopolin tukirakenteen tyvestä. Vastaava altistussuhde oli 400 %. Suurimmaksi magneettikentän voimakkuudeksi mitattiin 9 m etäisyydellä 0,10 A/m, jota vastaava altistussuhde oli 92 %.



Kuva 15. Omakotitalon pihalle asennettu monopoliantenni.

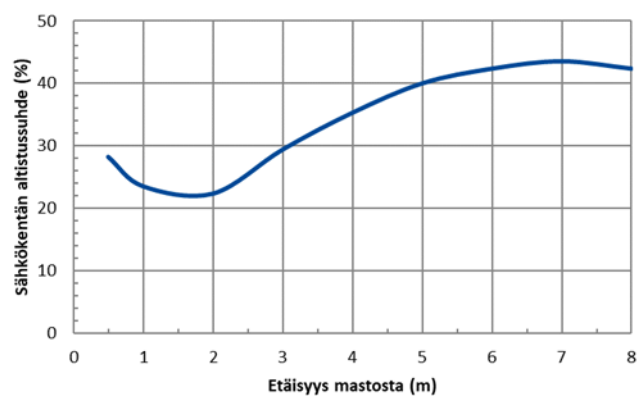
6.4.2 Tripoli

Tripoli antennia esittää kuva 16. Siinä 8,5 m korkuiseen mastoon on kiinnitetty kolme viistosti alaspäin suuntautuvaa 10,35 m pituista antennin haaraa. Haarojen syöttöpiste on 8,6 m korkeudella maasta, ja niiden välinen kulma on 120°. Haaroihin syötetään radiotaajuiset signaalit, joiden välillä on 120° vaihe-ero. Syöttökaapelin pituus on 20 m. Kolme 120° vaihe-eroista signaalia tehdään trigatuurihybridillä. Hybridin vaimennus on noin 0,3 dB ja kaapelin vaimennus noin 0,5 dB. Järjestelmään voidaan syöttää 150 W jatkuva teho. Käyttökelpoinen taajuusalue on 6 – 9 MHz. Tripolia käytetään taajuusalueella 7,0 - 7,2 MHz. Tripoli synnyttää ylöspäin suuntautuvan kiertopolarisoidun sähkömagneettisen kentän. Polarisaation käteisyyttä voidaan muuttaa vaiheistusta muuttamalla.

Mittausten aikana lähetinteho oli 10 W taajuudella 7,065 MHz. Antennin aiheuttaman magneettikentän voimakkuus oli suurimmillaan maston läheisyydessä noin 0,1 A/m kahden metrin korkeudella maasta. Se pieneni nopeasti mastosta kauemmaksi mentäessä ollen noin 0,01 A/m tripolin haarojen alapuolella. Kuvassa 17 esitetään etäisyyden funktiona mastosta kahden metrin korkeudella maasta mitatuista sähkökentän voimakkuuksista lasketut altistussuhteet skaalattuna 150 W lähetinteholle.



Kuva 16. Tripoliantenni



Kuva 17. Etäisyyden funktiona mastosta mitatuista sähkökentän voimakkuuksista lasketut altistussuhteet lähtetimen maksimiteholla 150 W.

6.5 Ajoneuvoon asennettu antenni

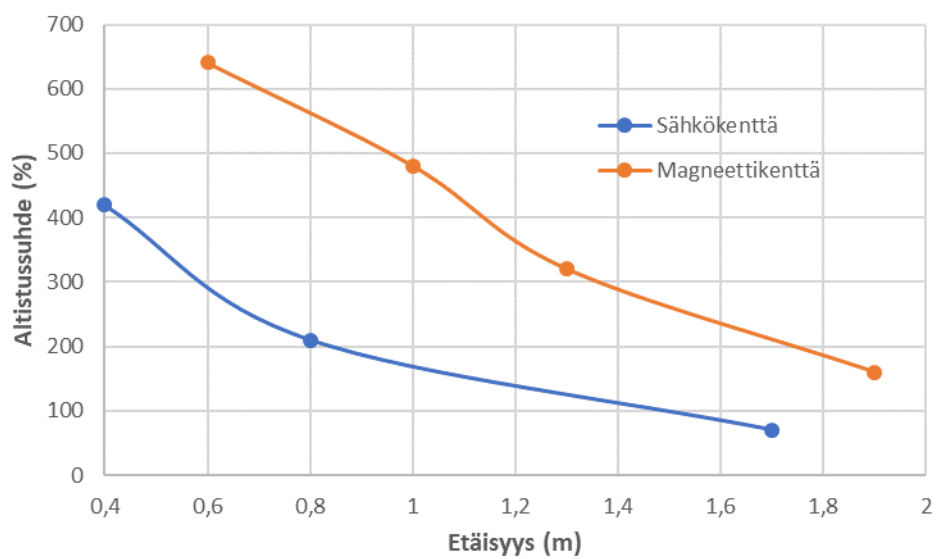
Pakettiauton katolle oli asennettu pystyluuppiantenni kuvan 18 mukaisesti. Luupin korkeus oli 1,3 m ja leveys hieman yli 2 m. Mittausten aikana lähetinteho oli 10 W taajuudella 3,7 MHz. Lähettimen maksimiteho oli 100 W.



Kuva 18. Pakettiauton katolle asennettu pystyluuppiantenni.

Magneettikentän maksimi mitattiin luupin keskeltä noin 2,7 m korkeudella maan pinnasta. Magneettikentän voimakkuus oli 0,6 m etäisyydellä 1,0 A/m. Sähkökentän maksimi 60 V/m mitattiin 0,4 m etäisyydellä luupin vasemmasta alakulmasta noin 2 m korkeudella maasta. Auton vasemmalla puolella 2 m korkeudella maasta mitattu sähkökentän voimakkuus oli suurimmillaan noin 10 V/m noin metrin etäisyydellä korista. Auton sisällä kuljettajan paikalla mitattu sähkökentän voimakkuus oli vähemmän kuin 1 V/m ja magneettikentän voimakkuus 0,04 A/m, kun molemmat etuovet olivat avoinna.

Kuvassa 19 esitetään 2 m korkeudella maasta mitatuista sähkö- ja magneettikentän voimakkuuksista 100 W lähetinteholle skaalatut altistussuhteet. Sähkökentän voimakkuus mitattiin etäisyyden funktiona luupin vasemmasta alakulmasta ja magneettikentän voimakkuus etäisyyden funktiona luupin alareunan keskipisteestä.



Kuva 19. Etäisyyden funktiona ajoneuvoaseman luuppiantennista mitatuista sähkö- ja magneettikentistä lähetinteholle 100 W skaalatut altistussuhteet.

7 Radioamatööriasemien RF-kenttien mittaustulosten tarkastelua

7.1 Kerrostalon katolle asennetut antennit

Kerrostalon katolle asennetuista antenneista monopoli aiheutti alempana sijaitsevalle kattotasanteelle suurimmat sähkö- ja magneettikentät. Maatasolangoista tehty maataso ei estä antennin säteilyä alaspäin, vaan alapuolelle syntyy merkittäviä kenttiä. Kattotasanteella STM:n asetuksessa (1045/2018) vahvistetut toimenpidetasot ylittyvät 100 W lähetinteholla, kun toimintasuhde on suurempi kuin 0,15 ja suurimmalla sallitulla 1500 W lähetinteholla, kun toimintasuhde on suurempi kuin 0,01. Kattotasanteella oleskelua on siten vältettävä monopoli antennia käytettäessä. Sisätiloissa sähkö- ja magneettikentät ovat sitä vastoin toimenpidetasoja pienempiä myös suurimmalla sallitulla 1500 W lähetinteholla.

Yagi-antennien aiheuttamat sähkö- ja magneettikentän voimakkuudet ovat saunaosaston viereisellä kattotasanteella ja kerrostalon ylimmissä sisätiloissa paljon pienempiä kuin monopoli antennin aiheuttamat. Nämä antennit ovat hieman korkeammalla ja säteilevät alaspäin paljon vähemmän kuin monopoli antenni. Toimenpidetasot ylittyvät käytännössä vain ylemmällä kattotasanteella yagi-antennien läheisyydessä. Toimenpidetasot eivät ylity suurimmalla sallitulla 1500 W lähetinteholla ja tyypillisillä radioamatöörien liikennöintitavoilla saunaosaston viereisellä kattotasanteellakaan.

Kerrostalon katolle asennetut antennit eivät aiheuta sisätiloihin toimenpidetasot ylittäviä kentänvoimakkuuksia. Katolla oleskelua on vältettävä, kun katolle asennettu monopoli antenni on käytössä. Katolle asennettuihin antenneihin ei saa syöttää RF-tehoa, kun antennien läheisyydessä tehdään kattotöitä.

7.2 Mastoon asennetut antennit

7.2.1 Yagi-antennit

Mastoon asennettujen yagi-antennien niiden alapuolelle kahden metrin korkeudelle maasta aiheuttamat kentänvoimakkuudet olivat 1500 W lähetinteholla suurempia kuin toimenpidetasot, kun antennien asennuskorkeus oli 9 m. Muiden vähintään 18,5 m korkeudelle asennettujen yagi-antennien aiheuttamat vastaavat kentänvoimakkuudet olivat selvästi toimenpidetasoja pienempiä. Laskentaohjelmalla IcnirpCalc tehtyjen laskelmien mukaan sähkökentän toimenpidetaso ylittyy 2 m korkeudella maasta, kun antennin korkeus maasta on vähemmän kuin 12 m. Laskentaohjelma antaa siten mittaustulosten kanssa yhteensopivia tuloksia. Radioamatööritoiminnan keskimääräisellä toimintasuhteella 0,10 – 0,12 altistussuhteiden keskiarvot kuuden minuutin ajanjaksoilta ovat selvästi pienempiä kuin 100 % myös 9 m korkeudella asennetun yagi-antennin alapuolella.

Vaaka-asentoon asennetut yagi-antennit aiheuttavat vaakapolarisoidun sähkömagneettisen kentän eli sähkökentällä on vaakakomponentti. Maan pinnan lähellä maa vaimentaa siten sähkökenttää, mikä näkyy mittaustuloksissa siten, että vielä kahden metrin korkeudella mitatuista kentänvoimakkuuksista laskettu sähkökentän altistussuhde on pienempi kuin magneettikentän altistussuhde.

Yagi-antennit ovat suuntaavimpia radioamatöörien käyttämiä antennejä alle 30 MHz taajuuksilla, joilla suurin sallittu teho on 1500 W. Siten yagi-antenneilla voidaan määrittää väestön turvaetäisyys eli suurin etäisyys, jolla altistussuhde vielä ylittää 100 % suurimmalla sallitulla syöttöteholla 1500 W. Turvaetäisyys on 5-elementtisellä yagilla (vahvistus 10,2 dB) 25 m ja 8-elementtisellä yagilla (vahvistus 13,4 dB) 36 m. Altistussuhde on 50 m etäisyydellä 25 % ja 100 m etäisyydellä 6 % 5-elementtisellä yagilla. Vastaavat altistussuhteet ovat 52 % ja 13 % 8-elementtisellä yagilla. Käytännössä antenniin menevä teho ja siten myös turvaetäisyys ja altistussuhteet ovat paljon pienempiä kaapelivaimennuksen ja epäsovitusten vuoksi. Mastoon asennetuilla yageilla turvaetäisyys ei ole yleensä ongelma, sillä ne asennetaan siten, että samalla korkeudella ei ole maston läheisyydessä asuinrakennuksia. Asia on kuitenkin hyvä huomioida mastoa sijoitettaessa ja antennejä siihen asennettaessa.

7.2.2 Quad-antenni

Mastoon asennetun quad-antennin aiheuttama sähkökentän voimakkuus on antennin edessä 2 m korkeudella maasta suurempi kuin toimenpidetaso 28 V/m, kun etäisyys mastosta on vähemmän kuin 9 m (kuva 13). Vastaavasti magneettikentän voimakkuuden toimenpidetaso 0,073 A/m ylittyy vielä noin 12 m etäisyydellä mastosta. Antennin sivuilla kentänvoimakkuudet ovat toimenpidetasoja suurempia noin seitsemän metrin etäisyydelle asti suurimmalla sallitulla lähetysteholla.

7.2.3 Pitkälanka-antennit

Taajuudella 3,7 MHz toimivan kahden vaakaluupin alapuolella mitatut suurimmat kentänvoimakkuudet skaalattuna suurimmalle sallitulle 1500 W lähetinteholle olivat 68 V/m ja 0,055 A/m 5 - 8 m korkeudelle asennetulle vaakaluupille sekä 39 V/m ja 0,023 A/m noin 10 m korkeudelle asennetulle vaakaluupille. Kummassakin tapauksessa magneettikentän voimakkuus oli pienempi kuin väestön toimenpidetaso 0,20 A/m. Sähkökentän voimakkuus oli sitä vastoin suurempi kuin väestön toimenpidetaso 45 V/m 5 - 8 m korkeudelle asennetun vaakaluupin alla mutta ei 10 m korkeudelle asennetun vaakaluupin alla.

Taajuudella 3,7 MHz toimivan kahden vinodipolin aiheuttamat kentänvoimakkuudet mitattiin suurimmalla sallitulla 1500 W lähetinteholla. Suurimmat sähkökentän voimakkuudet mitattiin vinodipolien alahaaran pään alapuolella ja magneettikentän voimakkuudet vinodipolien syöttökohdan alapuolella tai sen lähellä. Suurimmat mitatut sähkökentän voimakkuudet olivat 40 V/m, kun alahaaran pää oli noin 20 m korkeudella ja 70 V/m, kun alahaaran pää oli noin 8 m korkeudella. Suurin mitattu magneettikentän voimakkuus oli 0,20 A/m noin 24 m korkeudella sijaitsevan vinodipolin syöttökohdan alapuolella. Sähkökentän voimakkuus oli suurempi kuin toimenpidetaso 45 V/m noin 8 m korkeudella sijaitsevan vinodipolin alahaaran pään alapuolella mutta toimenpidetaso pienempi noin 20 m korkeudella sijaitsevan vinodipolin alahaaran pään alapuolella. Magneettikentän voimakkuus on lähellä toimenpidetasoa vinodipolin syöttökohdan alapuolella.

Kahden mitatun Windom-antennin asennuskorkeudet olivat 17 – 18 m ja noin 15 m. Niiden alapuolelta mitatut suurimmat kentänvoimakkuudet skaalattuina suurimmille sallituille lähetintehoille olivat selvästi pienempiä kuin toimenpidetasot.

7.3 Muut maan lähelle asennetut antennit

Maan pinnalle ja katolle asennetut monopolit aiheuttavat merkittäviä sähkö- ja magneettikenttiä metallilangoista tehdyn maatason alapuolelle. Taajuudella 7 MHz toimivan 10,6 m pituisen monopolin maataso oli 6 m korkeudella maasta. Suurimmalle sallitulle lähetinteholle skaalatut suurimmat mitatut kentänvoimakkuudet olivat 66 V/m viiden metrin etäisyydellä ja 0,10 A/m yhdeksän metrin etäisyydellä antennin tukirakenteen tyvestä. Sähkökentän voimakkuus on selvästi suurempi kuin väestön toimenpidetaso 33 V/m ja magneettikentän voimakkuus on yhtä suuri kuin toimenpidetaso. Tyypillisillä liikennöintitavoilla altistus on kuitenkin toimenpidetasoja pienempi myös suurimmalla sallitulla lähetinteholla.

Taajuudella 7 MHz toimivan tripolin alla suurin mitattu sähkökentän voimakkuus olisi suurimmalle lähetinteholle 150 W skaalattuna 14 V/m, joka on selvästi pienempi kuin väestön toimenpidetaso 33 V/m. Maston lähellä vastaava magneettikentän voimakkuus olisi 0,39 A/m, joka on nelinkertainen väestön toimenpidetasoon 0,10 A/m verrattuna. Kauempana mastosta skaalattu magneettikentän voimakkuus on noin 0,04 A/m eli selvästi pienempi.

7.4 Ajoneuvon katolle asennettu antenni

Taajuudella 3,7 MHz toimivan ajoneuvoaseman pystyluupin aiheuttama kentänvoimakkuus ylittää suurimmalla 100 W lähetinteholla väestön sähkökentän toimenpidetason 45 V/m noin 1,5 m etäisyydellä antennista ja magneettikentän toimenpidetason 0,20 A/m hieman yli 2 m etäisyydellä antennista auton oikealla puolella. Auton vasemmalla puolella ja auton sisällä toimenpidetasot eivät ylity.

8 Johtopäätökset

Kerrostalon katolle asennetut antennit aiheuttavat ylimpien kerrosten sisätiloihin kentänvoimakkuuksia, jotka ovat selvästi pienempiä kuin väestön toimenpidetasot. Katolla antennien läheisyydessä voi olla toimenpidetasoja suurempia kentänvoimakkuuksia suurimmalla sallitulla lähetinteholla. Mastoon tai puuhun asennetun antennin alimman säteilevän osan ollessa alle 10 m korkeudella maasta antennin alapuolelleen maan pinnan lähelle aiheuttama sähkö- tai magneettikentän voimakkuus voi olla toimenpidetasoja suurempi suurimmalla sallitulla lähetinteholla. Antennin edessä toimenpidetasot voivat ylittyä vielä noin 30 m etäisyydellä. Ajoneuvon katolle asennetun pystyluupin aiheuttama magneettikenttä on suurempi kuin väestön toimenpidetaso hieman yli 2 m etäisyydelle asti antennista 100 W lähetinteholla. Ajoneuvon sisällä väestön toimenpidetasot eivät ylity.

Radioamatööriasemien lähetykset ovat hyvin ajoittaisia, ja käytetty lähetinteho on yleensä paljon pienempi kuin suurin sallittu. Aseman keskimääräinen lähetinteho on tyypillisesti noin kymmenysosa kantoaaltotehosta. Siten asemien lähellä asuvan väestön altistus radioamatööriasemien radiotaajuisille sähkö- ja magneettikentille jää selvästi toimenpidetasoja vähäisemmäksi.

Erityistä huomiota on kiinnitettävä antennien sijoitukseen, kun käytetään suuria lähetystehoja. Antennit on asennettava riittävän korkealle (vähintään 10 m maasta) ja riittävän kauaksi asuinrakennuksista ja paikoista, joihin väestöllä on pääsy. Radioamatöörilaitteiden käsikirjojen ohjeiden mukaisesti asennettujen radioamatööriaseman antennien aiheuttamista radiotaajuisista sähkö- ja magneettikentistä ei ole terveydellistä haittaa väestölle. Ne eivät häiritse kehon aktiivisia implantteja, kuten sydämentahdistimia, eivätkä vaarana raskaana olevan eivätkä kehittyvän sikiön terveyttä.

Kirjallisuusviitteet

Estenberg J. Fältmätning av amatörradioanläggningar. Rapport. Stockholm: Strålsäkerhetsmyndigheten; 2015.

HPA, Health Protection Agency. Health effects from radiofrequency electromagnetic fields. Report of the independent Advisory Group on Non-Ionising Radiation. Documents of the Health Protection Agency. Radiation, Chemical and Environmental Hazards. April 2012. Luettu 28.10.2019.

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/333080/RCE-20_Health_Effects_RF_Electromagnetic_fields.pdf.

IARC, International Agency for Research on Cancer. Non-ionizing radiation, Part 2: Radiofrequency electromagnetic fields, vol. 102. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lyon, France, 2013.

ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 1998; 74(4): 494-522.

IcnirpCalc v 1.5 software. Luettu 4.3.2019. <https://www.iaru-r1.org/index.php/emc>

Markström K-A. Study of the distribution and usage profiles of amateur radio stations in Sweden. Report. Stockholm: ÅF Technology AB; 2016.

OH3TR. The moon is out there! Luettu 4.3.2019. <https://oh3tr.fi/suomi/eme.shtml>

Pat NOHR. Luettu 24.4.2019. http://www.oh3ac.fi/Ham_Radio_Population_In_The_World.pdf

Puranen L. Radioamatööriaseman aiheuttama radiotaajuinen säteily. STUK-B-TARO 13. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1989.

SCENIHR 2015, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF), Luxembourg: European Commission; 2015.

SSM, Strålsäkerhetsmyndigheten. Recent research on EMF and Health Risk. Twelfth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. SSM 2020:04. Stockholm: SSM; 2020.

STM. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus (1045/2018) ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistuksen rajoittamisesta.

Tampereen teekkarien radiokerho 2011. Luettu 7.9.2020. <https://oh3tr.fi/suomi/eme.shtml>

Traficom. Liikenne- ja viestintävirasto. Radiotaajuusmääräys 4Y/2019M.

Ulcek JL, Cleveland Jr. RF. Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields. Additional information for amateur radio stations. Federal Communications Commission. Office of Engineering and Technology. Supplement B (Edition 97-01) to OET Bulletin 65 (Edition 97-01), Washington D.C., USA, 1997.